

electricidad
teórico-práctica
Luminotecnia.
(técnicas de
la iluminación)
ediciones AFHA

Con este Método aspiramos a proporcionar una verdadera carrera gracias a la cual sea posible situarse brillantemente en la vida como técnico en electricidad, capaz de ocupar un lugar destacado en cualquier nivel profesional que se elija. Este Método proporciona a la persona interesada una metodología que aporta conocimientos sólidos y *completos* sobre su profesión. El Plan de Estudios cubre una verdadera necesidad en el campo de la enseñanza de la Electricidad. Abarca una serie de disciplinas a cuál más importante dentro del campo profesional y técnico, permitiendo enfrentarse con éxito con todos los problemas profesionales: Electrotecnia, instalaciones, prácticas; oficina técnica, electrometría, taller mecánico; matemáticas, geometría; conocimiento de materiales...

A través de una metodología tan amplia y completa, es posible adquirir unos conocimientos suficientemente desarrollados sobre cada especialidad y de ese modo abordar todos los problemas que se presentan en la profesión.

Gracias a la orientación dada al método, éste facilita los medios para adquirir todos los conocimientos que necesita un técnico en electricidad *completo*: Instalaciones eléctricas; tracción; producción de energía eléctrica, transformación y transporte; líneas de alta y baja tensión; telecomunicación; refrigeración; luminotecnia; aparatos electrodomésticos; electricidad del automóvil...

En su conjunto, este Método responde a una orientación didáctica de última hora. Tanto su contenido como su exposición y desarrollo son lo último en materia de enseñanza. Todo lo que se puede explicar gráficamente halla su aclaración en dibujos, viñetas, esquemas, imágenes en negro y color. Los autores, asimismo, se han esmerado en proporcionar al alumno un texto ameno, claro, directo, que haga fácilmente comprensibles todas las teorías, todos los problemas. La profusión de ilustraciones sumamente explícitas, la clara exposición de las teorías en feliz conjunción con su demostración gráfica y la posibilidad de experimentar por sí mismo, convierten este Método en algo muy distinto a un libro de texto. Es una verdadera enciclopedia sobre electricidad que no tiene par en el mercado.

El método AFHA de

electricidad teórico-práctica

comprende los siguientes títulos:

Tomo I — **Fundamentos de electrotecnia**

Tomo II — **Electroquímica. Electromagnetismo. Instalaciones domésticas**

Tomo III — **Corriente alterna. Principios de máquinas de c.c. y de c. a. Instalaciones industriales**

Tomo IV — **Transformadores. Máquinas eléctricas de c.c. y c.a.**

Tomo V — **Canalizaciones eléctricas. Líneas y centrales Telecomunicaciones alámbricas**

Tomo VI — **Luminotecnia. Técnicas de la iluminación**

Tomo VII — **Electricidad del automóvil**

Tomo VIII — **Aparatos electrodomésticos**



electricidad
teorico-practica

Es ahora, al intentar escribir un prólogo para nuestro tomo VI de Electricidad teórico práctica, cuando nos damos cuenta del atrevimiento que representa haber resumido en unas pocas páginas, todo un tratado de Luminotecnia.
Nuestra propia conciencia nos ha obligado a releer estas lecciones y nuestros labios se han dilatado en una sonrisa de satisfacción, porque nos damos cuenta de que nuestro atrevimiento no ha sido en balde.
Sinceramente: creemos haber conseguido una obra que, desde hace mucho, el mercado librero reclamaba a voz en grito: un tratado de la técnica de la luz donde aparece una exposición muy clara de temas de muy difícil comprensión incluso para aquellos que tengan una cierta base de estudios de Física elemental.
La explicación de la naturaleza de la luz, por ejemplo, como radiación electromagnética de energía, el fenómeno de la visión, las características de frecuencia y longitud de onda de una radiación, la sensación del color, etc., son temas que serán leídos con interés y sin cansancio, como si se tratase de una novela cuyo protagonista principal fuese nuestro órgano de la vista.
Pretendemos, ante todo, que el técnico electricista que tantas y tantas veces hace de la luz el motivo de su actuación profesional, pueda dejar para siempre el inocente empirismo, la despreocupada improvisación o intuición que guían sus trabajos para tomar conciencia de la gran importancia física y económica que tiene la luz en el mundo de hoy.
Estamos seguros de que las páginas de este libro están llenas de sorpresas para el electricista y también (nos atreveremos a afirmarlo) para aquellos que se consideran técnicos en iluminación. Esta afirmación parecerá lógica a quien haya hojeado un gran número de manuales de Luminotecnia y haya comprobado que un buen porcentaje de temas básicos no se afrontan plenamente debido a sus peculiares aspectos didácticos o, en caso de afrontarlos, se hace con un enfoque científico-matemático que no los aparta del mundo de lo abstracto.
Nuestro tratado de Luminotecnia, al contrario, se esfuerza en conseguir que la luz y sus fenómenos inherentes, dejen de aparecer como cuestiones abstractas para ofrecerse como realidades tangibles, susceptibles de medirse, variarse y controlarse en beneficio de una ampliación concreta.
Medir y controlar la luz; he ahí el centro de interés de la ciencia y técnicas de la iluminación. He ahí también una gran preocupación: saber enfocar el estudio de la fotometría con originalidad y eficacia, eliminando detalles inútiles muy propios de exposiciones eruditas, pero que desdibujan siempre un principio básico que es, precisamente, lo que tiene que permanecer inalterable cuando los temas fotométricos se tratan con un método didáctico eficaz.
Asimismo, hemos cuidado en extremo la exposición de la representación gráfica de la distribución especial de la luz, tema imprescindible para desarrollar cualquier proyecto de iluminación.
Esta es una obra densa, con la rara virtud de la amenidad, conseguida con un texto ágil y una profusión de gráficos pocas veces vista en obras de temática similar.
El volumen que ponemos a la consideración de nuestros lectores, viene a llenar un vacío y a acreditar una labor editorial puesta al servicio de la altura y de la técnica.
Ojalá que nuestro optimismo y nuestra sincera impresión de haber acertado con la obra más conveniente coincida con su opinión una vez haya doblado la última página del texto.





electricidad teórico-práctica

Como complemento de la enseñanza propiamente eléctrica, este Método comprende una serie de materias de vital importancia para la formación del técnico en electricidad. Gracias a ello, permite capacitarse como técnico completo, de modo que sea capaz de planear y resolver la instalación eléctrica de una vivienda, así como reparar un aparato electrodoméstico o localizar cualquier avería en la parte eléctrica de un automóvil.

Estas materias se han agrupado en cinco apéndices repartidos a lo largo del Método, en forma de series de lecciones sobre temas concretos: Apéndice I - Taller Mecánico; Apéndice II - Conocimiento de Materiales; Apéndice III - Fichas Técnicas; Apéndice IV - Electrometría; Apéndice V - Soluciones-tipo.

La serie *Taller Mecánico* facilita al lector estudioso una idea perfecta de las características y posibilidades de todas las máquinas y herramientas que pueden necesitarse en un proceso de fabricación o reparación de las distintas piezas que forman parte de un aparato o máquina eléctrica. Este conocimiento de causa permite discutir con los expertos mecánicos en debida forma; comentar, rectificar, decidir, en una palabra, lo que conviene o no en un trabajo.

La serie *Conocimiento de Materiales* es una ayuda extra para el experto en Electricidad. El profesional necesita conocer las posibilidades de cada uno de los materiales que emplea en su labor; esta serie de lecciones le proporciona ese conocimiento y le permite usar cada uno de ellos en el lugar adecuado y en las mejores condiciones de rendimiento y utilidad.

La serie *Fichas Técnicas* es un elemento de consulta de primer orden. Contienen una serie de datos técnicos que suelen consultarse con frecuencia y que difícilmente se encuentran a mano en un taller ordinario. Constituyen una herramienta de trabajo práctica y útil.

La serie *Electrometría* aporta los datos indispensables para cálculos, medidas y referencias de utilidad durante la labor previa a realizar cuando se inicia el estudio de algún proyecto.

Finalmente, el apéndice correspondiente a la serie *Soluciones-tipo* aporta al técnico en Electricidad el fruto de la experiencia de auténticos expertos conocedores de los problemas prácticos de la profesión. La labor diaria demuestra que el profesional se enfrenta frecuentemente con problemas que se repiten una y otra vez... Disponer de antemano de la solución ahorra tiempo y esfuerzos, evita toda posibilidad de error e incrementa la productividad del operador. En definitiva, permite un mayor crédito y una sensación de seguridad en el profesional.

El Método, en su conjunto, es una garantía de eficacia. Pensado por expertos que han palpado las realidades de cada día en el taller, es fruto de la experiencia y el conocimiento de la técnica... y del hombre.

electricidad

teórico-práctica

método ideado para aprender electricidad por sí mismo

electricidad teórico-práctica

tomo VI

luminotecnia
(tecnicas de
la iluminación)

ediciones  barcelona

El método AFHA de

electricidad teórico-práctica

comprende los siguientes títulos:

Tomo I	**Fundamentos de la Electrotecnia - Instalaciones.**
Tomo II	**Electroquímica - Electromagnetismo - Instalaciones domésticas.**
Tomo III	**Corriente alterna y principios de máquinas de c. c. y c** **Fundamentos de instalaciones industriales.**
Tomo IV	**Transformación de la corriente eléctrica. Instalación de máquinas eléctricas.**
Tomo V	**Líneas aéreas - Soldadura eléctrica - Telecomunicación.**
Tomo VI	**Técnicas de la iluminación.**
Tomo VII	**Electricidad del Automóvil**
Tomo VIII	**Tratado de aparatos electrodómesticos.**

Edición: Julio 1970

Fotolitos de: REPROCOLOR, Casanova, 155 - Barcelona (11)
Impreso por: EMOGRAPH, S. A. Almirante Oquendo, 1/9 (Barcelona)

Depósito Legal; B. 567 - 1963

prólogo

Es ahora, al intentar escribir un prólogo para nuestro tomo VI de Electricidad teórico-práctica, cuando nos damos cuenta del atrevimiento que representa haber resumido en unas pocas páginas todo un tratado de Luminotecnia.
Nuestra propia conciencia nos ha obligado a releer estas lecciones y nuestros labios se han dilatado en una sonrisa de satisfacción, porque nos damos cuenta de que nuestro atrevimiento no ha sido en balde.

Sinceramente: creemos haber conseguido una obra que, desde hace mucho, el mercado librero reclamaba a voz en grito: un tratado de la técnica de la luz donde aparece una exposición muy clara de temas de muy difícil comprensión incluso para aquellos que tengan una cierta base de estudios de Física elemental.

La explicación de la naturaleza de la luz, por ejemplo, como radiación electromagnética de energía, el fenómeno de la visión, las características de frecuencia y longitud de onda de una radiación, la sensación del color, etc., son temas que serán leídos con interés y sin cansancio, como si se tratase de una novela cuyo protagonista principal fuese nuestro órgano de la vista.

Pretendemos, ante todo, que el técnico electricista, que tantas y tantas veces hace de la luz el motivo de su actuación profesional, pueda dejar para siempre el inocente empirismo, la despreocupada improvisación o intuición que guían sus trabajos para tomar conciencia de la gran importancia física y económica que tiene la luz en el mundo de hoy

Estamos seguros de que las páginas de este libro están llenas de sorpresas para el electricista y también (nos atreveremos a afirmarlo) para aquellos que se consideran técnicos en iluminación. Esta afirmación parecerá lógica a quien haya hojeado un gran número de manuales de Luminotecnia y haya comprobado que un buen porcentaje de temas básicos no se afrontan plenamente debido a sus peculiares aspectos didácticos o, en caso de afrontarlos, se hace con un enfoque científico-matemático tan absoluto, que no los aparta del mundo de lo abstracto.

Nuestro tratado de Luminotecnia, al contrario, se esfuerza en conseguir que la luz y sus fenómenos inherentes dejen de aparecer como cuestiones abstractas para ofrecerse como realidades tangibles, susceptibles de medirse, variarse y controlarse en beneficio de una aplicación concreta.

Medir y controlar la luz; he ahí el centro de interés de la ciencia y técnicas de la iluminación. He ahí también una gran preocupación: saber enfocar el estudio de la fotometría con originalidad y eficacia, eliminando detalles inútiles muy propios de exposiciones eruditas, pero que desdibujan siempre un principio básico que es, precisamente, lo que tiene que permanecer inalterable cuando los temas fotométricos se tratan con un método didáctico eficaz.

Asimismo, hemos cuidado en extremo la exposición de la representación gráfica de la distribución espacial de la luz, tema imprescindible para desarrollar cualquier proyecto de iluminación.

Esta es una obra densa, con la rara virtud de la amenidad, conseguida con un texto ágil y una profusión de gráficos pocas veces vista en obras de temática similar.

El volumen que ponemos a la consideración de nuestros lectores viene a llenar un vacío y a acreditar una labor editorial puesta al servicio de la cultura y de la técnica.

Ojalá que nuestro optimismo y nuestra sincera impresión de haber acertado con la obra más conveniente coincida con su opinión una vez haya doblado la última página del texto.

índice

Lección 26 - página 1

LUMINOTECNIA. Introducción. Optica fisiológica. El sentido de la vista. La percepción. La luz y las radiaciones. La radiación. La luz. Magnitudes y unidades fundamentales. Flujo luminoso. Cantidad de luz. Nivel de iluminación. El ángulo sólido. Intensidad luminosa. Luminancia. Resumen de magnitudes y unidades fundamentales. Relación entre el flujo luminoso y la intensidad luminosa. Relación entre el nivel de iluminación y el flujo luminoso. Relaciones entre el nivel de iluminación y la intensidad luminosa. Relación entre la luminancia y la intensidad luminosa. Relación entre la luminancia y el flujo luminoso. Fotometría. El cuerpo negro. Fundamentos de la fotometría. Fotómetros visuales. Fotómetros físicos. Distribución espacial de la luz. Curvas isolux. Nota final.

Lección 27 - página 45

LUMINOTECNIA. Introducción. Lámparas de incandescencia. Elementos constitutivos de la lámpara. La ampolla. Bases y casquillos. El filamento. El gas de relleno de la ampolla. Características de funcionamiento de la lámpara de incandescencia. Tensión de funcionamiento. Consumo de electricidad. Flujo luminoso. Eficacia luminosa. Distribución luminosa. La duración o vida de la lámpara. Posición de la lámpara. Temperatura y naturaleza de la ampolla. Naturaleza del servicio a prestar por la lámpara. Recientes progresos en incandescencia : la lámpara de cuarzo-iodo-tungsteno. Lámparas de descarga. Principio de la lámpara de descarga. La lámpara de vapor de sodio. La lámpara de vapor de mercurio. Las lámparas fluorescentes. Tubos de alta tensión. Recientes progresos en lámparas de descarga : la atmósfera de xenon. Condensadores electroluminiscentes. Luz coherente : el laser.

Lección 28 - página 89

LUMINOTECNIA. Introducción. Reflexión, transmisión y absorción de la luz. Aparatos, sistemas y métodos de alumbrado. Iluminación directa. Iluminación semidirecta. Iluminación difusa. Iluminación directa-indirecta. Iluminación semiindirecta. Iluminación indirecta. Lámparas de trabajo. Techo luminoso. Métodos de alumbrado. Alumbrado central. *Formas más corrientes de distribuir los aparatos de alumbrado en iluminación general. Incandescencia-Vapor de mercurio.* Fluorescencia. Alumbrado general localizado. Alumbrado local. Establecimiento de un proyecto de iluminación interior : Altura útil. Indice del local. Coeficiente de utilización. Factor de conservación. Flujo luminoso necesario para el alumbrado general a un nivel de iluminación dado. Número y potencia de los focos luminosos. Disposición de los focos luminosos. *Anteproyecto de alumbrado.* Local a iluminar. Tipo de alumbrado. Determinación del flujo luminoso necesario. Elección de las lámparas y distribución de los aparatos en el local. *Iluminación de apartamentos.* La luz en la decoración interior. El alumbrado debe ser variado. Niveles de iluminación recomendados para el alumbrado de viviendas. Cómo iluminar. *Alumbrado público.* El alumbrado de exteriores. El alumbrado público. Clasificación de las vías públicas. Luminancia de las vías públicas. Nivel de iluminación en calzadas. Selección de los aparatos de alumbrado. Incandescencia. Descarga. Emplazamiento de las luminarias. Alimentación del alumbrado público. Ejemplo de iluminación de una carretera. Iluminación de una piscina.

apéndice II conocimiento de materiales

Lección 9 - página 1

Aislantes sólidos de origen mineral. Amianto. La mica. La micanita. El micalux. Cuarzo. Vidrio. Fibra de vidrio. *Aislantes cerámicos.* La porcelana. Aisladores de porcelana. Aisladores macizos. Aisladores rizados y tensores. Condiciones que deben cumplir los aisladores. *Otros aislantes cerámicos.* La esteatita. Corindón vitrificado. Bases refractarias porosas. *Aislantes gaseosos.* El aire.

Lección 10 - página 17

Materiales constructivos. Materiales férricos. Clasificación de los aceros. Aplicaciones de los materiales férricos. Propiedades eléctricas y magnéticas del hierro; sus aplicaciones. Reconocimiento de los aceros. Tratamientos térmicos de los aceros. Protección del hierro contra la oxidación. Cales y cementos. La piedra como material de construcción. Piezas cerámicas para la construcción.

apéndice III fichas técnicas

COLECCIÓN DE FICHAS TÉCNICAS. Fichas 25 a 33. Luminotecnia.

apéndice IV electrometría

Lección 4 - página 1

Casos particulares de medición de resistencias. Medida de la resistividad volumétrica de una placa aislante. Medida de la resistividad superficial de una placa. Medida de la resistividad de líquidos aislantes. Recomendaciones para las mediciones de resistencias de aislamiento. *Mediciones con corriente alterna.* Aparatos de medida de lectura directa. Voltímetros y amperímetros de hierro móvil. Aparatos para varios alcances. Aparatos con rectificador.

Lección 5 - página 13

Aparatos de medida térmicos. Características principales de los aparatos termoeléctricos a hilo caliente. Aparatos a par termoeléctrico o termopar. Medición de potencias en corriente alterna. Vatímetros electrodinámicos. Medición del ángulo de desfase. Fasímetro electrodinámico de cuadros cruzados. Fasímetro electrodinámico para corrientes equilibradas. Medición de frecuencias. Aparatos de lectura directa. Frecuencímetros de lengüetas con sistema de resonancia.

ELECTRICIDAD

Luminotecnia
Introduccion

Optica fisologica

La luz y las radiaciones

Fotometria

Distribución espacial de la luz



LECCION Nº 26



INTRODUCCION

En esta lección y en las siguientes usted tomará conciencia del interés de la técnica de la iluminación. Ante todo, empero, hemos de decirle que estas lecciones tienen carácter eminentemente práctico, por lo que en esencia estan orientadas a darle a conocer la forma de proyectar una instalación de alumbrado.

El fundamento de la mayor parte de los temas técnicos estriba en el estudio de las cualidades y aplicaciones de la materia inanimada; pero la LUMINOTECNIA considera, además, el órgano de la visión del ser humano. Es decir, tiene por objeto que este último pueda percibir por medio de la iluminación, y la percepcion visual se resiste a ser considerada por medio de las fórmulas matemáticas que se emplean en cualquier

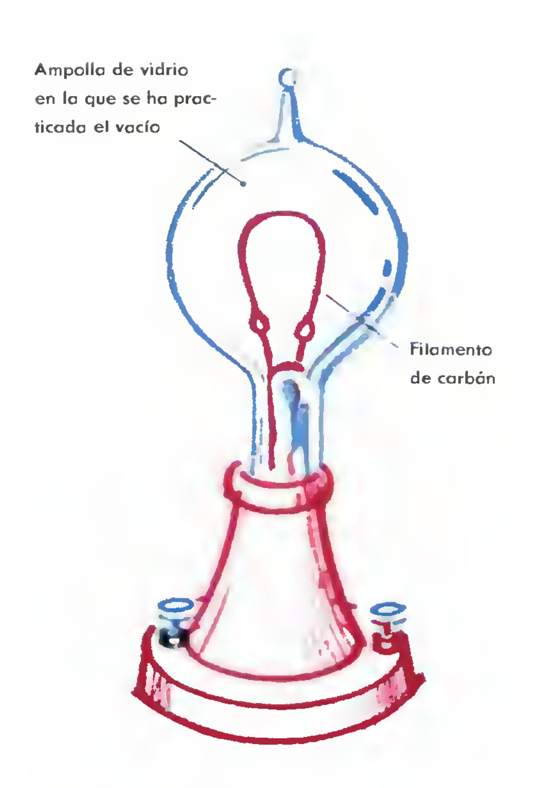
técnica. El órgano de la visión da lugar a reacciones sensoriales y éstas a las mentales, todas las cuales son muy reacias a expresarse por números o por símbolos. Por ello, la LUMINOTECNIA depende mucho más del sentido artístico o de la comodidad de la visión del ser humano que de las fórmulas; éstas, o la técnica en sí misma, se subordinan al fenómeno fisiológico.

Dentro de esta subordinación podemos distinguir entre el concepto físico de la radiación luminosa (una ciencia pura), la creación de medios o dispositivos que permitan percibir satisfactoriamente (una técnica) y las reglas empíricas a tener en cuenta para que esta cualidad —y necesidad a la vez— de percibir sea fácil, rápida y agradable (una ciencia natural, fisiológica y síquica).

Es decir: a pesar de todo, la técnica es indispensable. Estas lecciones tratan de la técnica de la iluminación; y allí donde se manifieste esta subordinación al ser humano se indicará la conexión existente con los procesos que tienen lugar en el órgano perceptor y su exacta relación con la ciencia de la visión. Para ello, estudiaremos brevemente qué es la luz, analizaremos después cuáles son sus unidades fundamentales y su distribución espacial; pasaremos luego revista a los diversos tipos de fuentes de luz existentes en la actualidad, para entrar, a continuación, en el proyecto de las instalaciones de alumbrado propiamente dichas. Finalmente, se describirán los aspectos fundamentales de cada tipo de aplicación particular.

La técnica de la iluminación es muy antigua y muy reciente a la vez. Por estar subordinada al ser humano, puede decirse que éste la empleó con las primeras antorchas; pero, en realidad, nace a finales del siglo pasado, cuando Edison inventó, en 1879, la primera lámpara incandescente de filamento de carbón.

Como técnica joven, no ha alcanzado aún su madurez; y no la ha alcanzado porque no se ha llegado a conocer aún causas y efectos con la precisión necesaria para concretarlos mediante la formulación matemática adecuada. Es decir, no se ha alcanzado aún el conocimiento suficiente de los fenómenos luminosos como para plasmarlos en unas ecuaciones que permitan, a partir de unos principios fundamentales, ir deduciendo todos los efectos hasta sus últimas consecuencias. Es, por tanto, en su nivel actual, una ciencia eminentemente empírica, y como tal orientada por los resultados de la experimentación.



Año 1879. Thomas A. Edison crea la primera lámpara de incandescencia.

Desde 1879, los progresos realizados en la técnica de la iluminación han sido muy importantes y culminan en la moderna lámpara panelescente o cerámica luminosa, pasando por la lámpara fluorescente, cuyo desarrollo ha sido considerado por muchos como el paso más notable realizado en el campo de la luminotecnia.

Paralelamente, otras lámparas de incandescencia y luminiscentes, tales como las de gas kripton, de vapor de mercurio, de vapor de sodio, etc., representan una gran aportación a la moderna técnica de la luz artificial, pues su elevado rendimiento permite alcanzar altos niveles de iluminación.

La célula fotoeléctrica, objetiva y precisa, ha hecho posible la realización del maravilloso iluminamómetro o luxímetro portátil, que tanto ha contribuido a poner en evidencia las necesidades de un alumbrado correcto en la vida del trabajo y del hogar.

* * *

OPTICA FISIOLOGICA

EL SENTIDO DE LA VISTA

En el ser humano, y en muchos animales, el fenómeno de la visión o percepción de la luz se efectúa mediante dos órganos que conocemos como ojos. Puede considerarse el ojo como el receptor del sistema visual, constituyendo un verdadero aparato de óptica cuyo elemento principal es el *cristalino*, y en cierto modo, podríamos compararle a una cámara fotográfica.

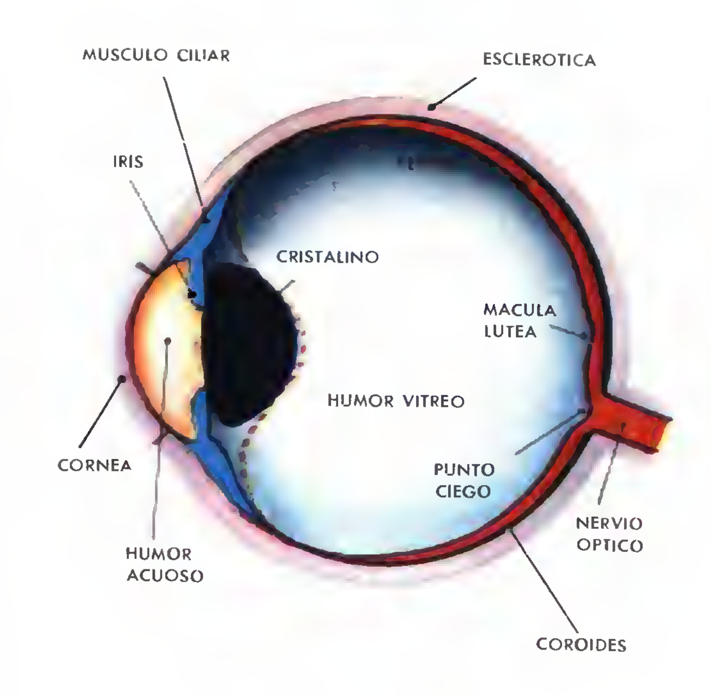
El ojo es perfectamente esférico, salvo una pequeña zona en su parte central. El llamado globo ocular se halla rodeado por una fuerte membrana, la *esclerótica*, que le protege. La esclerótica sobresale en la parte frontal del globo formando una porción transparente y fuertemente abovedada denominada *córnea*. La pared del globo está formada por otra membrana llamada *coroides*, rica en vasos sanguíneos, que en su parte delantera, precisamente detrás de la córnea, tiene un orificio en que se aloja un órgano que actúa de lente denominado *cristalino*. El cristalino está unido a la coroides por una serie de fibrillas y por un músculo circular cuya funcion es contraer o dilatar el cristalino. (Este sólo se diferencia de una verdadera lente de óptica en que es elástico y, en cambio, aquélla es rigida.) La acción de este músculo es comparable a la del diafragma de una cámara fotográfica, mientras los párpados obran como un obturador permitiendo o impidiendo la entrada de los rayos luminosos.

La coroides se prolonga por delante del cristalino formando el *iris*, dotado de una perforación circular que aparece como una mancha negra llamada *pupila*.

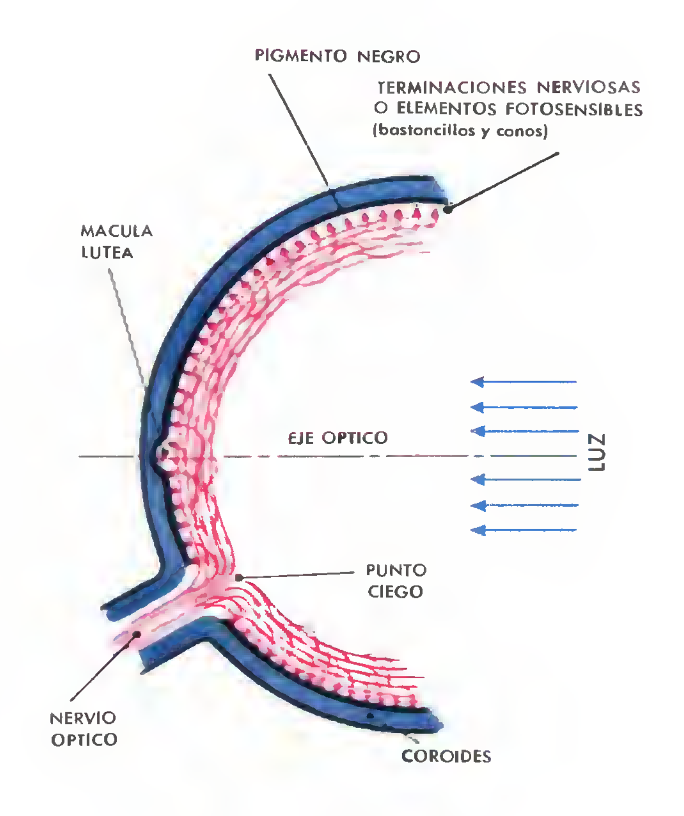
El espacio comprendido entre la córnea y el iris está lleno de un líquido incoloro, llamado *humor acuoso*, del que también está llena la cámara formada entre el iris y el cristalino.

Una tercera membrana, llamada *retina*, recubre la pared interna del globo ocular. Consiste en un tejido de fibras nerviosas finas y transparentes. El interior del globo está lleno de un fluido gelatinoso llamado *humor vitreo*.

Las fibrillas nerviosas de la retina se reúnen en la parte posterior del ojo, constituyendo el llamado *nervio óptico*. Los dos nervios ópticos se cruzan y se dirigen al cerebro. Las fibrillas nerviosas, cuyo número se estima en un millón, se extienden en todas direcciones sobre la superficie anterior de la retina y terminan en los *bastoncillos* y *conos*, denominados así por su forma,



EL OJO



Seccion esquemática de la retina.

que se distribuyen irregularmente en la superficie de la retina. El punto de entrada del nervio óptico no es sensible a las impresiones luminosas, y se le llama *punto ciego*. La parte central de la retina sólo contiene conos y reacciona a la radiación incidente, llamándose *mácula lútea* (mancha amarilla).

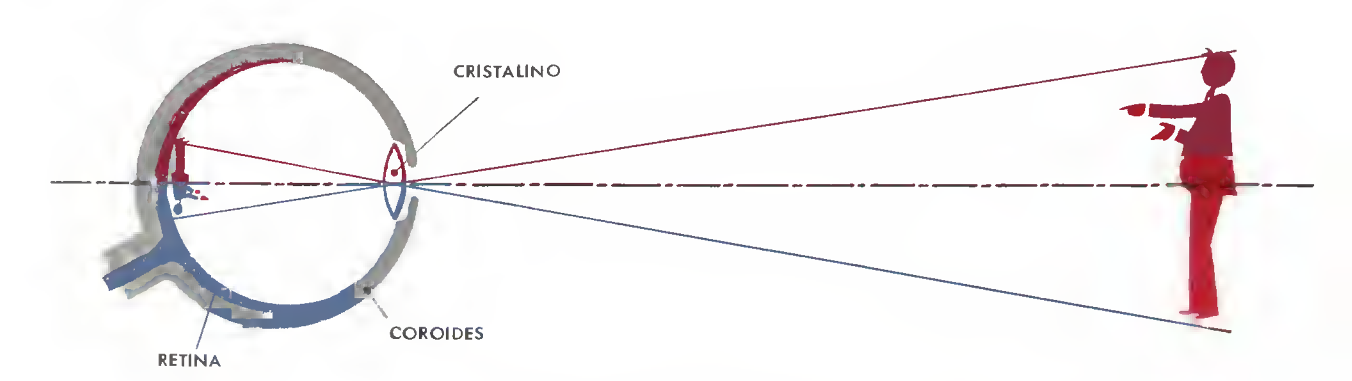
La luz ha de atravesar todo el espesor de la retina, formado por las fibrillas, a fin de llegar a las terminaciones nerviosas. En ellas, bajo la acción de la luz, la energía luminosa se transforma en excitación nerviosa gracias a los conos y bastoncillos y llega al cerebro a través de la fibrilla correspondiente y el nervio óptico. Esta parte sensible a la luz que es la retina se halla protegida por un pigmento negro. Los bastoncillos no son sensibles al color y lo son mucho a la excitación luminosa. Sucede lo inverso en los conos; es decir, para fuertes niveles de iluminación, los bastoncillos no actúan y, en cambio, para débiles niveles son los conos los que no actúan.

La descripción del órgano de la visión encierra interesantes temas de discusión, y el proceso de la visión entraña muchos problemas no resueltos hasta ahora por la investigación científica, los cuales caen fuera del alcance de este Método. No obstante, quienquiera que entre en el campo de la luminotecnia debe familiarizarse con los puntos esenciales, ya que, después de todo, el ojo es el enlace entre el hombre y el medio iluminado que lo rodea.

De todos los objetos que nos rodean parten, cuando se hallan iluminados, rayos luminosos que penetran en el ojo por la pupila y son concentrados por la lente que es el cristalino, siendo refractados hacia la retina; forman así, sobre dicho órgano, una imagen fiel pero pequeña e invertida del objeto que se mira. Esto corresponde exactamente con la formación de la imagen en una cámara fotográfica; pero mientras en la cámara es preciso desplazar o modificar la distancia entre la pantalla y el objetivo para obtener imágenes claras del objeto enfocado, en el ojo se modifica el grueso del cristalino por medio de los músculos ciliares. Esta propiedad del ojo de modificar su longitud focal adaptándola a la distancia a que se encuentran los objetos recibe el nombre de *acomodación*. Los músculos del ojo se fatigan rápidamente si se mira de forma repetida de cerca y a lo lejos, si se mira continua y alternativamente zonas iluminadas y zonas oscuras y si se observa insistentemente de cerca un objeto pequeño. Pero recuérdese que el ojo tiene la facultad de descansar cuando su visión está dirigida a lo lejos; esta consideración es muy importante, ya que condiciona la luminosidad, no solamente del objeto observado, sino también de las zonas que lo circundan y sobre las cuales el ojo se dirige para su reposo.

Si bien la retina del ojo equivale a la película, como el ojo mismo a la cámara fotográfica, existe una diferencia marcada entre dicha retina y la película o placa impresionable de un aparato fotográfico: en esta última el tiempo de exposición influye en el ennegrecimiento de la capa sensible a la luz, y en cambio no es así en l retina. Cuando aumentamos el tiempo de contemplación de un punto luminoso, éste no se presenta más claro a nuestra vista. Sin embargo, sabe regular la intensidad de las sensaciones sobre la retina, consiguiendo que la imagen sea nítida en todos los casos, de manera semejante a la regulación de la abertura del diafragma en una cámara fotográfica. Cuando usted dirige la vista a una luz muy viva, se contrae su pupila, reduciendo el paso de rayos luminosos, mientras que si usted se encuentra en la oscuridad la pupila se dilata queriendo captar la mayor cantidad posible de luz.

Es decir, sus ojos tienen la notabilísima propiedad de ajustarse a la intensidad de iluminación en cada caso particular.



Formación de imágenes en el ojo. El cristalino proyecta sobre la retina una imagen pequeña e invertida.

La retina también se adapta a las diferentes intensidades de iluminación. Esta adaptación es aún más importante que la de la pupila, y por ello podemos calificarla como la verdadera *adaptación fisiológica*. La retina es mucho más sensible en la oscuridad, como consecuencia del aumento de actividad de los bastoncillos. Sin esta facultad quedaríamos absolutamente ciegos al llegar el crepúsculo. Para darle una idea de la importancia de esta adaptación, sepa que en la oscuridad el ojo es alrededor de 8.000 veces mas sensible que a la luz normal. En algunos animales, como el gato, las ratas y los ratones, los mochuelos, etc., esta facultad está muy desarrollada, por estar habituados a buscar su alimento durante la noche. La adaptación no se realiza de manera instántanea, sino que la vista va acostumbrándose con cierta lentitud al nuevo nivel de iluminación.

La adaptación a las circunstancias que se efectúa en la retina se debe principalmente a que varía la sensibilidad de los conos. Esta sensibilidad es mínima cuando la iluminación es intensa; y al pasar a un ambiente oscuro, momentaneamente el ojo no percibe hasta que la retina se adapta. Si pasamos de repente de la oscuridad a la claridad, la retina se sobreexcita; es decir, quedamos deslumbrados.

A pesar de que la facultad de adaptacion de los conos es muy grande, llega un momento en que la percepción por su mediacion ya no es posible y la excitación transmitida al cerebro, a través del nervio óptico, es cada vez más defectuosa. Entonces entran en acción los bastoncillos y suplen hasta donde pueden el imperfecto funcionamiento de los conos. Ya hemos indicado que estos elementos fotosensibles, los bastoncillos, no distinguen los colores, por lo que la vision con bajos niveles de iluminación sigue siendo imperfecta a pesar de su intervención.

LA PERCEPCION

A pesar de su maravillosa constitución, nuestros ojos no saben comparar entre sí las intensidades luminosas de dos focos distintos; en cambio, con un poco de práctica, podemos evaluar con bastante exactitud cuántos metros, kilogramos o litros tiene un objeto cualquiera. Lo máximo que sabremos decir es que un foco es más intenso que otro; pero nunca sabremos evaluar aproximadamente el valor de esta intensidad.

Por lo contrario, sabemos percibir con gran exactitud si dos superficies contiguas se hallan o no igualmente iluminadas. Las irregularidades de iluminacion se perciben, pues, por *contraste*. Así, el reconocimiento de los objetos situados en nuestro campo de vision se efectua gracias a la diferencia de las impresiones que nos producen o, como se ha indicado, gracias a los contrastes.

Dentro de los contrastes debemos distinguir entre los contrastes de color y los contrastes de luminosidad, que corresponden a dos impresiones distintas. Un fotógrafo que emplea película en blanco y negro busca el contraste de luminosidad para obtener imágenes contrastadas; al contrario, si emplea pelicula para fotografia en color, busca el contraste en el color, a pesar de que sigue siendo necesario cierto contraste en luminosidad.

Si sobre un trozo de carton pintado mitad por mitad en rojo y azul colocamos dos tiras, tambien de cartón y pintadas una en rojo y otra en azul, veremos que la tira de color azul no se distingue cuando pasa por la zona azul de la superficie del cartón. Al contrario, cuando está encima de la zona pintada de r o la distinguiremos perfectamente. Con la tira de color rojo ocurre lo mismo cambiando los colores.

Este contraste es debido al color. Si sobre una superficie de hierro colocamos una barra también de hierro, ésta se distinguirá según que la superficie o la barra sean más o menos brillantes, una con relación a la otra. Es decir, según que reflejen mejor o peor la luz: es un contraste por luminosidad.

La percepcion de un objeto es en general mucho más fácil cuanto más pronunciado sea el contraste. Por esta razón la escritura con tinta negra es más fácil de leer que la hecha con lápiz. Habitualmente no se aprecia lo suficiente esta admirable posibilidad de nuestros ojos, ya que podemos darnos cuenta de muy ligeras diferencias o contrastes. Esta sensibilidad a los contrastes es muy marcada cuando estas diferencias son mínimas; depende mucho de la luminosidad del fondo de nuestro campo de vision, de los alrededores del objeto observado y de otras muchas influencias, tales como, por ejemplo, la presencia de focos luminosos molestos. En muchos casos los contrastes muy marcados pueden fatigar la visión debido a esta gran sensibilidad de nuestros ojos.

Como ya hemos dicho, los conos, elementos fotosensibles de nuestra retina, producen en el cerebro la sensación del color y sirven principal-



Contraste de color.



Contraste de luminosidad.

mente para una visión clara y precisa cuando son excitados por la acción de la luz, mientras que otros elementos fotosensibles, los bastoncillos, son insensibles a la coloración y entran en actividad en el crepúsculo o en la oscuridad.

Cuando la luminosidad es elevada, la sensibilidad de la retina es máxima para los colores amarillo-verdosos; a medida que la iluminación desciende esta sensibilidad máxima se desplaza hacia el color azul. Este corrimiento de la sensibilidad hacia el azul no tiene nada de extraño, ya que proviene del desarrollo de las condiciones de vida sobre la Tierra: en un tiempo no lejano, en que sólo se conocía el sol como fuente de luz, el ojo se adaptó exclusivamente, de una forma fisiológica, a la luz tamizada en cielo cubierto o a la luz difusa del día, que posee un máximo de radiaciones amarillo-verdosas.

En los cuerpos no luminosos percibimos el color por el fenómeno de la reflexión selectiva; es decir, los objetos iluminados por la luz solar reflejan como un espejo, hacia nuestros ojos, solamente los rayos de un color y absorben los demás. Así, si observamos un paño o tela decimos, por ejemplo, que es rojo porque sólo refleja este color; en cambio, la luz solar contiene todos los colores del arco iris. Los otros colores distintos al rojo han sido absorbidos por el trozo de tejido. Ahora bien, si iluminásemos la tela mediante una luz artificial que no tuviera entremezclado el color rojo, el mismo paño no nos pareceria rojo, sino negro o negruzco. De donde debemos tener siempre muy presente que, en luminotecnia, la 'uz con que iluminamos un cuerpo debe ser adecuada a su color; es decir, el color de la luz debe corresponder al del cuerpo iluminado.

Usado de modo adecuado, el color puede disminuir la fatiga de la visión y mejorar el estado de ánimo, ya que, como sabemos, siendo el ojo nuestro receptor de luz, no podemos desligar lo físico de lo anímico. Deben evitarse o corregirse los fuertes contrastes de los colores, no sólo en el campo limitado de visión para un trabajo determinado, sino también procurando eliminar contrastes como, por ejemplo, los producidos por un mueble de color muy oscuro y una pared blanca, unos objetos claros sobre fondo negro. Dichos extremos pueden provocar en el término de unas horas fatiga visual y reducir la eficacia de la ocupación que se realice.

La iluminación artificial es por lo general deficiente en uno o más colores. La lámpara de incandescencia es bastante pobre en verde, azul y violeta, y en cambio tiene un exceso de amarillo. A pesar de diferentes criterios, la mayoría de técnicos en alumbrado están de acuerdo en considerar como mejores combinaciones de colores las siguientes: amarillo y negro, verde sobre blanco, rojo sobre blanco, azul sobre blanco y negro sobre blanco. En cambio no son recomendables el rojo y verde y el rojo y azul.

Un objeto blanco aparecerá más brillante que un objeto oscuro en la misma iluminación. Todo el campo de visión debe tener un brillo uniforme para evitar la fatiga o los esfuerzos excesivos de la visión. El color y la luz son dos factores que si se conjugan en armonía pueden hacer mucho más agradable el ambiente.

LA LUZ Y LAS RADIACIONES

La luz tiene dos significados: en su sentido general, la luz es el agente capaz de excitar nuestro sentido de la vista, y por tanto la base de un fenómeno fisiológico que tiene lugar en nuestro interior. Desde el punto de vista físico, la luz es una de las manifestaciones de la energía, al igual que la electricidad, el calor, etc.

Podemos definir la luz como energía radiante, o conjunto de radiaciones, con capacidad para producir sensaciones visuales. La luz es una sensación, mientras que la radiación luminosa es un fenómeno físico; es decir, energía propagada a velocidad en el espacio y cuya presencia sólo puede ser detectada por sus efectos, que consisten en impresionar nuestra retina permitiéndonos ver. La radiación luminosa y la luz son cosas esencialmente diferentes: la radiación, fenómeno físico, es la causa; la luz, que sólo es una sensación, es su efecto. Aunque una implica la otra, no deben, sin embargo, confundirse.

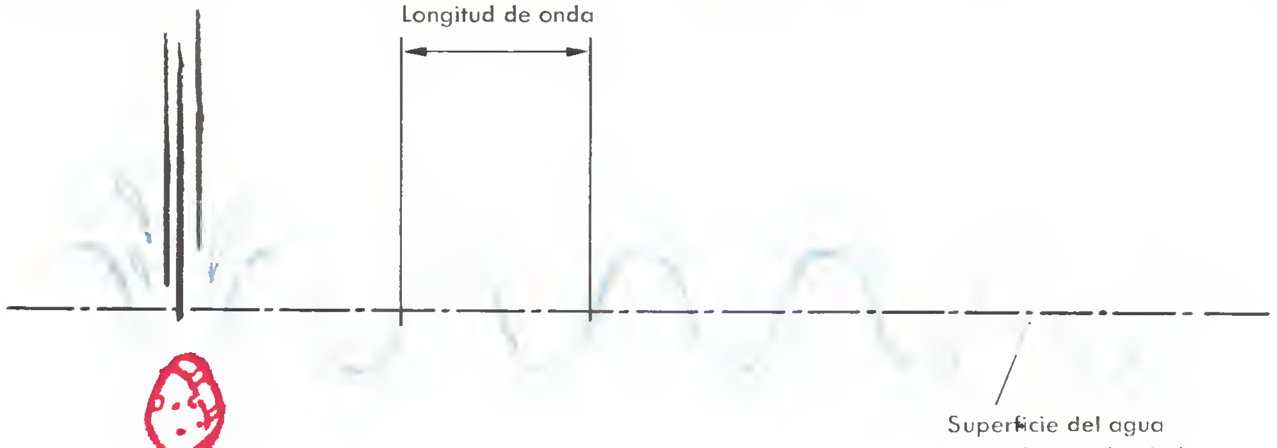
El alumbrado es la posibilidad de ver lo que nos rodea gracias a la luz.

LA RADIACION

Los electrones que se desplazan en un átomo, alrededor de su núcleo, poseen una cantidad de energía determinada. En la práctica, esta cantidad de energía es mayor o menor según sea la distancia del electrón al núcleo. Sabemos que los electrones están dispuestos alrededor del nucleo según orbitas cada vez más alejadas; ello quiere decir que los electrones de órbitas diferentes poseerán cantidades diferentes de energía. Si, por una causa cualquiera, colocamos un electron en una órbita más alejada, aquél adquirirá la energía correspondiente a esta orbita. (Este incremento de energia, en realidad, corresponderá con el necesario para colocarlo en la nueva órbita.) No obstante, no siendo la suya esta órbita, el electron se encuentra en estado inestable y acaba por volver a la primitiva. Al pasar de la órbita más alejada (de mayor energía) a la más próxima al nucleo (de menor energía) libera una cantidad de energía igual a la diferencia entre las energias de las dos órbitas. Esta energía liberada por el electrón al pasar de una a otra òrbita se propaga en el espacio, en todas direcciones, en forma de radiaciones.

El proceso que hemos descrito puede comprenderse con mayor facilidad por medio de un ejemplo simple pero aproximado. Si tomamos una piedra y la lanzamos al aire en dirección a un estanque, gracias a la fuerza que le aplicamos, la piedra ascenderá hasta cierta altura, adquiriendo cierta energía potencial. En este momento, como no habrá nada que la retenga, caerá por acción de la gravedad sobre la superficie del estanque, liberando la energía adquirida. Esta energía liberada se propaga por medio de ondas superficiales que se alejan del punto de caída.

Cuanta más fuerza apliquemos a la piedra mayor altura alcanzará; y por ende mayor energía adquirirá, la cual podrá liberar sobre la superficie del agua en el punto de caida. Normalmente consideramos que la onda está formada por una cresta y una depresión. Desde el inicio de una cresta hasta el fin de una depresión —es decir, toda una cresta y una depresión— existe cierta distancia o longitud, que siempre es la misma entre las ondas formadas sobre la superficie del estanque. Esta distancia o longitud se llama *longitud de onda*.



Las ondas producidas en la superficie del agua se alejan con cierta velocidad, que podemos llamar *velocidad de propagación*. Si fijamos nuestra vista en un punto de la superficie del agua veremos pasar una onda, después otra, luego otra, otra y así sucesivamente. Si efectuamos esta observación reloj en mano, veremos que al cabo de 1 minuto han pasado, por ejemplo, 50 ondas. Es decir, las ondas producidas por la piedra en su caída sobre la superficie del agua se desplazan con cierta velocidad y pasan delante de nuestros ojos con cierta frecuencia.

O sea, la energía liberada por la piedra se transmite en la superficie del agua por medio de ondas que tienen una longitud dada, las cuales se propagan con una cierta velocidad y pasan por un punto según una frecuencia bien definida.

Siendo siempre la misma la velocidad de propagación en un medio ambiente dado, cuanto menor sea la longitud de onda mayor será el número de ondas que pasarán por unidad de tiempo; es decir, mayor será la frecuencia y viceversa. Estas tres magnitudes se relacionan, pues, de la siguiente forma.

$$\text{Longitud de onda} = \frac{\text{velocidad de propagación}}{\text{frecuencia}}$$

$$\text{Frecuencia} = \frac{\text{velocidad de propagación}}{\text{longitud de onda}}$$

Velocidad de propagación = frecuencia × longitud de onda.

La energía liberada por el electrón al volver a su órbita primitiva, después de haber sido excitado y desplazado a otra órbita más alejada, se propaga en el espacio por medio de radiaciones que tienen una cierta longitud de onda — de donde según una frecuencia dada — y a una velocidad que es específica del medio. Esta velocidad de propagación en el éter es de 300.000 kilómetros por segundo.

La energía siempre es de la misma naturaleza, aunque los efectos que produzca sean diferentes (calor, luz, electricidad, etc.). Siendo siempre de la misma naturaleza, y por propagarse siempre a la misma velocidad en el éter, lo único que puede diferenciar unos efectos de otros es la frecuencia a la cual vibra dicha energía. Los efectos que produce la energía radiada pueden clasificarse según la frecuencia de radiación o, lo que es lo mismo, según la longitud de onda de la propagación. Esta clasificación se conoce con el nombre de *espectro electromagnético*, llamado así porque la energía es una carga eléctrica y su radiación se efectúa atravesando el campo magnético. En el espectro electromagnético, las longitudes de onda y las frecuencias se expresan en función de la velocidad de propagación de 300.000 kilómetros por segundo. Así, las anteriores relaciones quedarán en las siguientes:

$$\text{Longitud de onda} = \frac{300.000}{\text{Frecuencia}}$$

$$\text{Frecuencia} = \frac{300.000}{\text{Longitud de onda}}$$

En el espectro, las longitudes de onda se expresan en kilómetros, centímetros, micras y angströms.

Las frecuencias de las vibraciones se expresan por un número de ondas por segundo, que se denomina normalmente en ciclos o periodos por se-

1 kilómetro	1000 metros	▷	1 km	1000 m
1 centímetro	$\frac{1 \text{ metro}}{100}$	▷	1 cm	$\frac{1}{100}$ m
1 milimetro	$\frac{1 \text{ metro}}{1000}$	▷	1 mm	$\frac{1}{1000}$ m
1 micra	$\frac{1 \text{ milímetro}}{1000}$	▷	1	$\frac{1}{1000}$ mm
1 milimicra	$\frac{1 \text{ micra}}{1000}$	▷	1 m	$\frac{1}{1000}$
1 Angström	$\frac{1 \text{ micra}}{10.000}$ — $\frac{1 \text{ milimicra}}{10}$	▷	1 A	$\frac{1}{10.000}$ $\frac{1}{10}$ m

gundo o, mejor aun, en herzios, en honor del famoso físico Hertz.

1 ciclo/segundo = 1 periodo/segundo = 1 herzio
1 c/s = 1 p/s = 1 Hz

Puesto que la frecuencia es el resultado de dividir la velocidad de radiacion en el éter por la longitud de onda, resulta que las radiaciones electromagnéticas de poca longitud de onda tienen una frecuencia elevada y viceversa. Como para las longitudes de onda se utilizan más bien los submúltiplos del metro, será necesario que para la frecuencia se utilicen múltiplos del herzio. Desde luego, el uso de estos múltiplos y submultiplos sólo tiene su razón de ser en evitar el empleo de muchos ceros delante o después de la cifra significativa. Así:

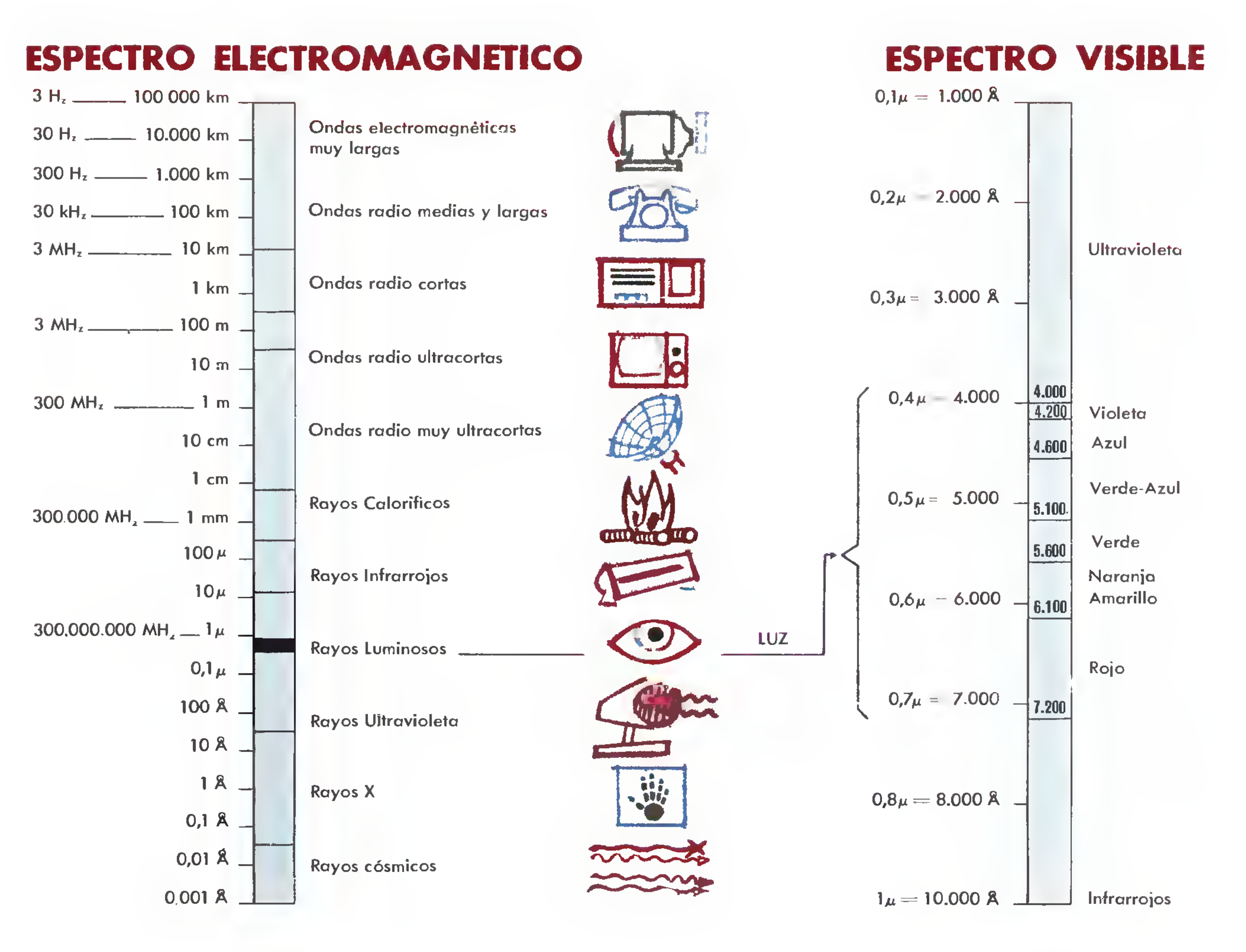
1 kiloherzio = 1 kilociclo por segundo = 1000 herzios = 1000 ciclos por segundo

1 KHz = 1Kc/s = 1000 Hz = 1000 c/s

1 megaherzio = 1 megaciclo por segundo = = 1.000.000 herzios = 1.000.000 ciclos por segundo

1 MHz = Mc/s = 1000 KHz = 1000 Kc/s = = 1.000.000 Hz = 1.000.000 c/s

Las radiaciones visibles, o radiaciones luminosas susceptibles de impresionar nuestra retina, cubren una gama muy estrecha del citado espectro electromagnético. Para que usted pueda discernir las radiaciones cuya frecuencia dan lugar a una luz de color bien definido, hemos ampliado el *espectro visible* al lado del electromagnético o total. Este último contiene todo el conjunto de ondas y oscilaciones electromagnéticas, empezando por las vibraciones eléctricas de frecuencia industrial (50 Hz) que se emplean en los motores, aparatos electrodomésticos, etc. A continuacion encontramos lo que podríamos llamar las bajas frecuencias, u ondas electromagnéticas muy largas, que se emplean en las comunicaciones telefónicas y en los altavoces; en estas ondas estan



comprendidas las audibles hasta 15 ó 20 KHz y los ultrasonidos hasta 30 KHz y más. Desde 30 KHz hasta 10.000 MHz están comprendidas todas las frecuencias que se emplean en radiodifusión, televisión y radar. A partir de la longitud de onda de 30 μ (micras) empieza la radiación calorífica con los rayos infrarrojos hasta los 7.200 Å (angströms) o 0'72 μ, en que empieza la radiación luminosa o luz. Esta radiación, de cuya composición trataremos al hablar del espectro visible, termina con el inicio de la radiación ultravioleta a los 4.000 Å o 0'4 μ. Entre 3 Å y 0'1 Å se encuentran los rayos Roentgen, más conocidos como rayos X, que tienen aplicación en fines médicos, para el control de la calidad de piezas metálicas y para la localización de defectos en ellas. Más allá, y ya en el límite del espectro, se encuentran los rayos gamma, producidos por las radiaciones radioactivas y cósmicas que tan profundos estudios están motivando.

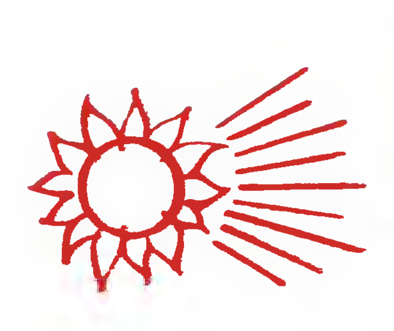
LA LUZ

La luz precedió, en la naturaleza, a cualquier otra cosa del Universo. De la luz natural se conocen tres fuentes o focos: el Sol, la Luna y las estrellas, que influyen decisivamente en nuestra vida y nuestras actividades. Pero las necesidades crecientes del progreso encadenan al hombre y le obligan a desligarse parcialmente de las condiciones impuestas por la naturaleza. Así, el hombre ha creado nuevas fuentes luminosas que complementan las fuentes de luz naturales, las cuales ha intentado imitar, especialmente la solar, que es la fuente luminosa natural por excelencia.

La sensación de calor que experimentamos a la luz del Sol está producida por una radiación: la infrarroja; la luz del Sol, que nos permite ver el mundo que nos rodea, es una radiación luminosa, y la apariencia tostada adquirida por la piel expuesta al sol es producida, asimismo, por otra radiación: la ultravioleta.

La energía radiada por el Sol, y que recibimos en la Tierra, contiene estas tres radiaciones: la infrarroja o térmica, la luminosa y la ultravioleta. Pero sólo la luminosa es capaz de excitar nuestra retina; las otras dos son invisibles. De la radiación luminosa o visible que recibimos del Sol decimos que es *luz blanca* y la percibimos únicamente como tal. Ello no es así; si usted observa de nuevo el espectro visible comprobará que entre las longitudes de onda de 4.000 A y 7.000 A existe una serie de radiaciones con longitud de onda (o frecuencia) bien definida. Es decir, vemos que el espectro visible forma un conjunto; la luz del Sol es en realidad una mezcla de una serie de radiaciones de diversas longitudes de onda. Para demostrarlo, usted puede hacer dos pruebas: una descomponiendo la luz del Sol y otra *fabricando* luz blanca.

Podemos descomponer la luz solar colocando una pantalla metálica con un agujerito en el centro, de forma que sólo deje pasar un estrecho haz de luz. En el trayecto de este rayo luminoso intercalaremos un prisma triangular de vidrio, el cual *refractará* —es decir, desviará o seleccionará— cada una de las radiaciones elementales del espectro solar. Cuanto menor sea la longitud de onda, mayor será la desviación que imprime el prisma al rayo luminoso. Si despues del prisma colocamos una pantalla de proyeccion, recogeremos, pues, en lugar de un punto luminoso blanco, toda una banda matizada en que aparecen las diversas radiaciones con los colores que conocemos por el arco iris.





Descomposicion de la luz blanca.

Decimos que en la pantalla recogeremos los colores que nos son conocidos por el arco iris. En realidad nos hemos expresado mal, ya que en la pantalla obtendremos separadas una serie de radiaciones que vibran u oscilan a una determinada frecuencia; es decir, con una longitud de onda propia de cada una. Lo que llamamos *color* no es otra cosa que una impresión sensorial producida por una radiación de determinada longitud de onda que excita los elementos fotosensibles llamados conos de las terminaciones nerviosas de nuestra retina; a través del nervio óptico, dicha excitación es interpretada por nuestro cerebro como *color*. Recordará que para bajos niveles de iluminación estos elementos fotosensibles, los conos, dejan de actuar o actúan muy poco; al contrario, son los bastoncillos (otros elementos fotosensibles) los que son excitados por la radiación luminosa; pero estos últimos son incapaces para darnos una sensación de color. De ahí que en tiempo nublado todo nos parezca casi gris (hay poca luz) y que de noche todo nos parezca casi negro (hay muy poca luz).

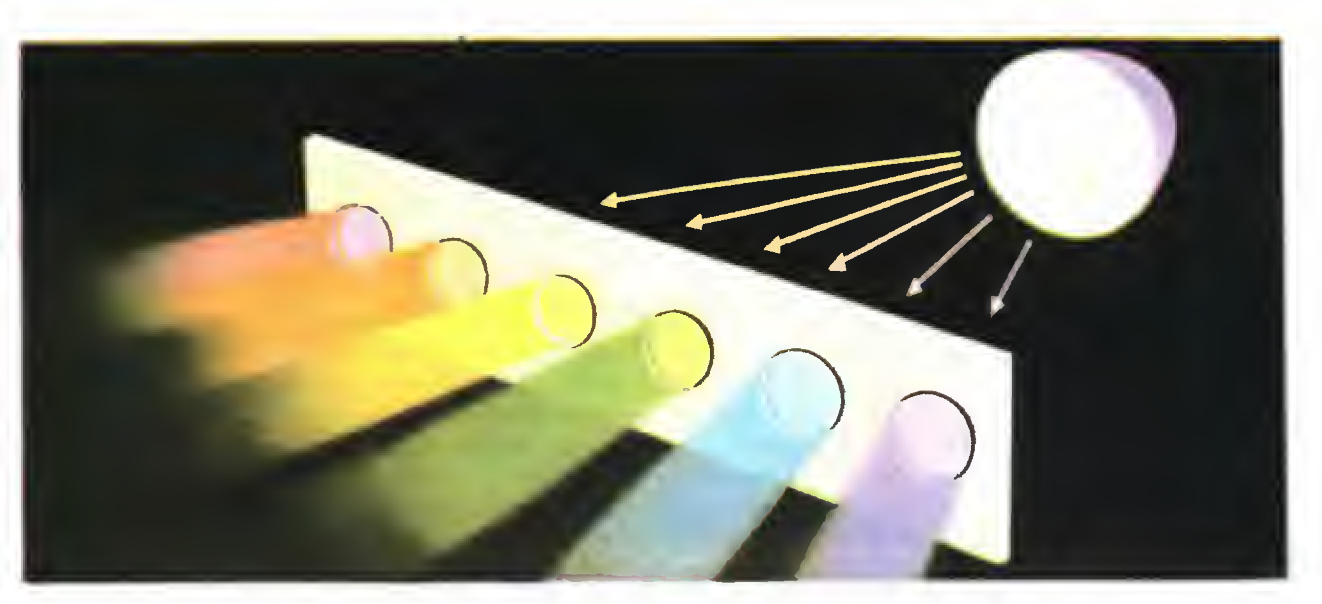
Una demostración clara de esta mezcla de radiaciones, o luces de colores, que es la luz blanca del Sol, puede obtenerse por medio del disco de Newton. Con este disco podremos *fabricar* el color blanco; es decir, producir la sensación correspondiente a la luz blanca. En un disco de cartón, o de cualquier otro material, trace seis sectores iguales, cada uno de los cuales pintará con los colores rojo, naranja, amarillo, verde, azul y violeta. Si hace girar rápidamente el disco, los colores se mezclan y usted comprobará que acaba viéndolo blanco. El color blanco se obtendrá con



Disco de Newton.

tanta mayor limpieza cuanto más ajustadas se hallen las tonalidades de los colores básicos.

A pesar de que la luz blanca es una mezcla de luces de otros colores y que en sí misma no existe, sin embargo, es la luz natural por excelencia. Para obtener una luz coloreada, azul por ejemplo, sólo podemos emplear dos métodos. El primero en realidad es un artificio que consiste en filtrar la luz blanca con ayuda de un vidrio azul, que solamente deja pasar la radiación correspondiente al azul e intercepta las otras. Como radiación es energía, se comprende que este método comporta una gran pérdida de energía luminosa.

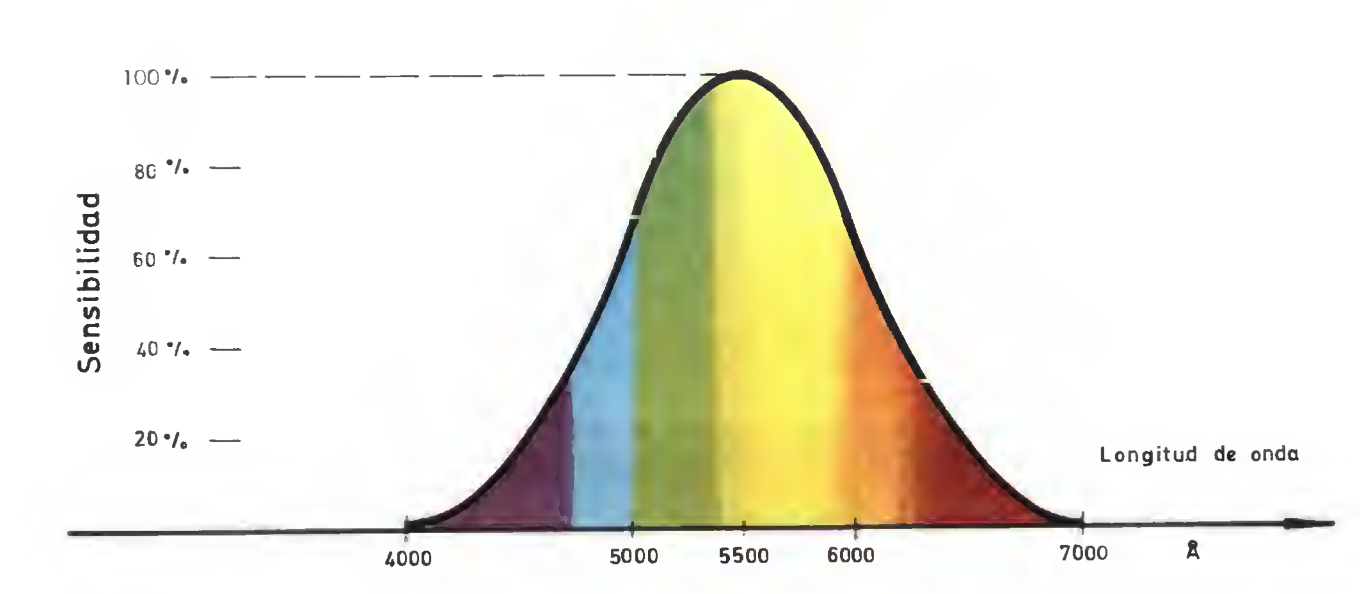


Filtros de color.

El segundo método consiste en el empleo de focos luminosos artificiales que produzcan radiaciones correspondientes al color deseado. Ello es posible por medio de tubos luminiscentes de gases nobles o lámparas de arco con carbones de efectos luminosos. Las fuentes de luz fluorescente tienen también la gran ventaja de producir directamente luz de color.

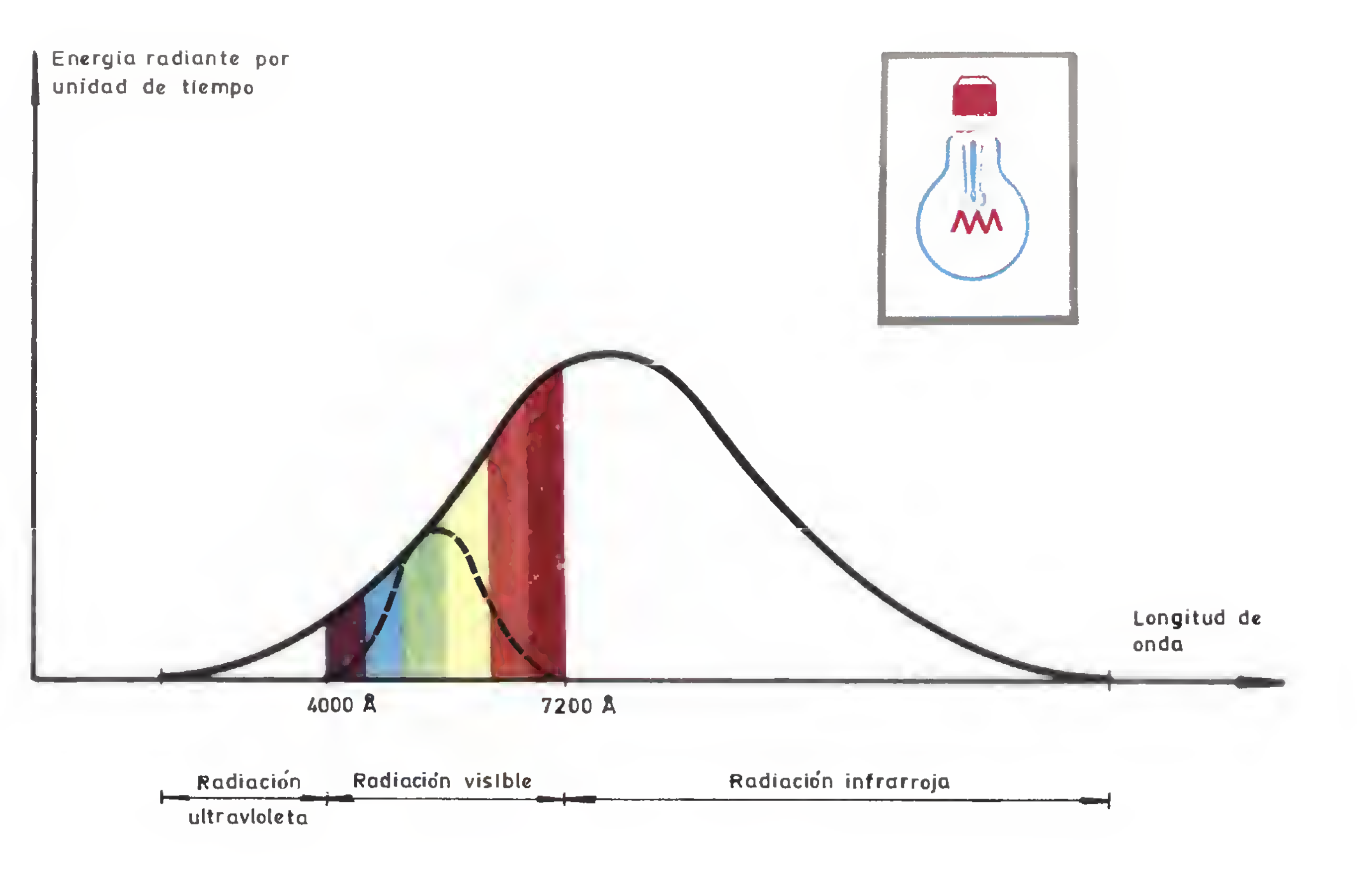
No todos los colores del espectro visible —es decir, no todas las longitudes de onda comprendidas en el espectro visible— son captados por el ojo humano con la misma sensibilidad. Como usted recordará, el ojo del hombre, por naturaleza, es más bien sensible al color amarillo-verdoso. Para tener una idea de la sensibilidad del ojo humano a los diferentes colores, basándose en que la del amarillo verdoso es la máxima, construyamos un sistema coordenado rectangular llevando al eje de abscisas (horizontal) las longitudes de onda del espectro visible; en el eje de ordenadas (vertical) representamos la sensibilidad relativa del ojo a los diferentes colores, expresada en porcentajes. Se ha de considerar que estos porcentajes se refieren a la sensibilidad máxima (100 %) para la longitud de onda de 5.500 que corresponde al color amarillo-verdoso y que representa el resultado de promedio de las observaciones efectuadas sobre gran número de individuos fisiológicamente normales en cuanto a su visión se refiere.

Sensibilidad del ojo humano a los diferentes colores.



Consideremos ahora una fuente de luz convencional, por ejemplo una lámpara incandescente, y veamos cómo se distribuye la energía radiante que emite entre las diversas longitudes de onda. Si llevamos, igual que antes, sobre el eje de abscisas (horizontales) las longitudes de onda, y sobre el eje de ordenadas (vertical) la energía radiante de luz en la unidad de tiempo, obtenemos la curva de distribución de dicha energía radiante, la cual nos indica que la mayor parte de la energía se emite como radiación infrarroja o ultravioleta y que sólo una pequeña parte es emitida en longitudes de onda correspondientes al margen de radiación visible.

Ahora bien, debido a la diferente sensibilidad del ojo humano para las distintas longitudes de onda, no toda esta energía se convierte directamente en sensación de luz, ya que la energía radiada por la lámpara, la que podríamos evaluar en vatios por unidad de tiempo por similitud con la energía eléctrica, en cada longitud de onda viene atemperada por el porcentaje de sensibilidad del ojo a que nos hemos referido; en la figura se indica por una línea de puntos.



Espectro electromagnético de una lámpara de incandescencia.

Si toda la energía eléctrica consumida por la lámpara de incandescencia se convirtiese en energía radiante dentro del espectro visible (zona coloreada de la figura), y a la vez la sensibilidad del ojo humano fuera del 100 por 100 para todas las longitudes de onda, cada vatio eléctrico aplicado se convertiría en un vatio de luz. Como, desgraciadamente, esto no es así, la eficacia luminosa de la fuente de luz —es decir, la relación entre la potencia luminosa (vatios-luz) y la potencia eléctrica (vatios eléctricos)— es siempre menor que la unidad.

En la práctica se ha considerado que el vatio-luz es demasiado grande para medir la potencia luminosa de las fuentes convencionales, por lo que se ha adoptado como unidad el *lumen*, de tal modo que se verifique:

1 vatio-luz = 650 lúmens

La eficacia teórica ideal de una fuente de luz es, por tanto, de 650 lúmens por vatio eléctrico absorbido, aun cuando en la práctica, y por todo lo expuesto, no existe lámpara alguna que proporcione una eficacia tan elevada. Las lámparas de vapor de sodio, como luego veremos, son las que alcanzan eficacias mayores, hasta de 90 lúmens por vatio, precisamente por emitir luz de color amarillento con una longitud de onda próxima a los 5.500 A, que corresponde a la máxima sensibilidad del ojo humano.

MAGNITUDES Y UNIDADES FUNDAMENTALES

Cada técnica tiene unas definiciones y unas unidades de medida que le son propias. En luminotecnia, las magnitudes fundamentales y unidades admitidas para su medición sirven para la comparación y valoración de las diversas fuentes luminosas que se encuentran ordinariamente en la práctica; para ello, las magnitudes fundamentales a considerar son las del flujo luminoso, intensidad luminosa, nivel de iluminación y luminancia.

Toda la teoría de la técnica de las mediciones se basa en admitir que el foco luminoso es puntiforme; es decir, debe suponerse que se encuentra reducido a un punto. La dificultad principal en desarrollar un sistema de unidades en luminotecnia reside en que ya existía un sistema antes de que se estableciesen con claridad los conceptos de radiación y sensación de luz que usted conoce. Los principios completos de la técnica de la medición de la luz fueron publicados por Lambert en 1760, cuarenta años antes de nacer Ampère y ciento diecinueve años antes de que Edison inventara la primera lámpara de incandescencia. Es decir, se estableció un sistema de unidades cuando aún no existían las eléctricas y antes de que la electricidad se aplicara a la técnica del alumbrado.

Teniendo en cuenta que, en la actualidad, la electricidad constituye la principal fuente de energía para alimentar los sistemas de alumbrado, la técnica de la iluminación debe descansar en un sistema de medidas basado en el *vatio-luz*. Esta unidad ya fue definida en el capítulo anterior; pero, como ya indicamos, es demasiado grande para tener aplicación práctica. Para medir la potencia luminosa de las fuentes convencionales, en la práctica se adopta el *lumen*, que es 650 veces más pequeño que el vatio-luz y que constituye la unidad de flujo luminoso o, mejor aún, el *factor de luminosidad de la radiación.*

FLUJO LUMINOSO

El flujo luminoso y la intensidad de iluminación son características específicas del foco luminoso; el nivel de iluminación es una propiedad particular del alumbrado producido por el foco; los focos luminosos, al igual que los objetos iluminados, presentan una cierta luminancia.

De la misma forma que en diversas técnicas denominamos *potencia* a la energía transformada en cada unidad de tiempo (vatios, kilovatios, caballos de vapor, etc.), el *flujo luminoso* de una fuente o manantial de luz es la potencia luminosa de dicho elemento, o sea la energía radiada al espacio en una unidad de tiempo. Considerando que la fuente luminosa es alimentada por energía eléctrica, sabemos que en el caso ideal dicha fuente transformaría íntegramente cada vatio eléctrico (1 vatio = 1 julio × 1 segundo = 1 voltio × × 1 amperio) en un vatio-luz. Sabemos que, en la práctica, ello no es posible a causa de las pérdidas que mencionamos en el capítulo anterior.

Estas pérdidas se deben, en primer lugar, a que en toda transformación de energía el rendimiento no es nunca del 100 por 100. Ello también es válido en los focos luminosos que transforman la energía eléctrica en energía luminosa; el rendimiento es diferente según el tipo de foco. Así, en una lámpara incandescente, por ejemplo, la transformación se efectúa con mucha pérdida de energía al calentar el filamento para llevarlo a incandescencia. Este filamento constituye una resistencia; y como en toda resistencia, en ella se disipan muchos vatios en forma de calor. La energía efectivamente radiada tiene diferentes longitudes de onda que comprenden las visibles o luminosas, las infrarrojas y las ultravioletas; estas dos últimas representan una nueva pérdida de energía, ya que, para fines de alumbrado, no tienen aplicación. Finalmente, sabemos que la radiación luminosa con longitud de onda correspondiente al amarillo-verdoso es la única capaz de excitar al 100 % los elementos fotosensibles de nuestra retina; en cambio, para los otros colores dichos elementos tienen una sensibilidad que decrece muy rápidamente. Es decir, parte de las radiaciones efectivamente luminosas no excitan por completo nuestra retina, y de ahí se deduce que una parte de dichas radiaciones representa una pérdida de energía que es luminosa pero que no es útil para nuestros ojos.

O sea, del vatio, que equivale a 650 lumens, sólo se aprovecha una pequeña parte en sensación de luz.

MAGNITUDES Y UNIDADES FUNDAMENTALES

Cada técnica tiene unas definiciones y unas unidades de medida que le son propias. En luminotecnia, las magnitudes fundamentales y unidades admitidas para su medición sirven para la comparación y valoración de las diversas fuentes luminosas que se encuentran ordinariamente en la práctica; para ello, las magnitudes fundamentales a considerar son las del flujo luminoso, intensidad luminosa, nivel de iluminación y luminancia.

Toda la teoría de la técnica de las mediciones se basa en admitir que el foco luminoso es puntiforme; es decir, debe suponerse que se encuentra reducido a un punto. La dificultad principal en desarrollar un sistema de unidades en luminotecnia reside en que ya existía un sistema antes de que se estableciesen con claridad los conceptos de radiación y sensacion de luz que usted conoce. Los principios completos de la técnica de la medicion de la luz fueron publicados por Lambert en 1760, cuarenta años antes de nacer Ampère y ciento diecinueve años antes de que Edison inventara la primera lámpara de incandescencia. Es decir, se estableció un sistema de unidades cuando aún no existían las eléctricas y antes de que la electricidad se aplicara a la técnica del alumbrado.

Teniendo en cuenta que, en la actualidad, la electricidad constituye la principal fuente de energía para alimentar los sistemas de alumbrado, la técnica de la iluminación debe descansar en un sistema de medidas basado en el *vatio-luz*. Esta unidad ya fue definida en el capítulo anterior; pero, como ya indicamos, es demasiado grande para tener aplicación práctica. Para medir la potencia luminosa de las fuentes convencionales, en la práctica se adopta el *lumen*, que es 650 veces más pequeño que el vatio-luz y que constituye la unidad de flujo luminoso o, mejor aún, el *factor de luminosidad de la radiación*.

FLUJO LUMINOSO

El flujo luminoso y la intensidad de iluminación son características específicas del foco luminoso; el nivel de iluminación es una propiedad particular del alumbrado producido por el foco; los focos luminosos, al igual que los objetos iluminados, presentan una cierta luminancia.

De la misma forma que en diversas técnicas denominamos *potencia* a la energía transformada en cada unidad de tiempo (vatios, kilovatios, caballos de vapor, etc.), el *flujo luminoso* de una fuente o manantial de luz es la potencia luminosa de dicho elemento, o sea la energía radiada al espacio en una unidad de tiempo. Considerando que la fuente luminosa es alimentada por energía eléctrica, sabemos que en el caso ideal dicha fuente transformaría integramente cada vatio eléctrico (1 vatio = 1 julio × 1 segundo = 1 voltio × × 1 amperio) en un vatio-luz. Sabemos que, en la práctica, ello no es posible a causa de las perdidas que mencionamos en el capitulo anterior.

Estas pérdidas se deben, en primer lugar, a que en toda transformación de energia el rendimiento no es nunca del 100 por 100. Ello tambien es válido en los focos luminosos que transforman la energía electrica en energía luminosa; el rendimiento es diferente según el tipo de foco. Así, en una lámpara incandescente, por ejemplo, la transformación se efectúa con mucha pérdida de energía al calentar el filamento para llevarlo a incandescencia. Este filamento constituye una resistencia; y como en toda resistencia, en ella se disipan muchos vatios en forma de calor. La energia efectivamente radiada tiene diferentes longitudes de onda que comprenden las visibles o luminosas, las infrarrojas y las ultravioletas; estas dos últimas representan una nueva pérdida de energía, ya que, para fines de alumbrado, no tienen aplicación. Finalmente, sabemos que la radiación luminosa con longitud de onda correspondiente al amarillo-verdoso es la unica capaz de excitar al 100 % los elementos fotosensibles de nuestra retina; en cambio, para los otros colores dichos elementos tienen una sensibilidad que decrece muy rápidamente. Es decir, parte de las radiaciones efectivamente luminosas no excitan por completo nuestra retina, y de ahi se deduce que una parte de dichas radiaciones representa una perdida de energía que es luminosa pero que no es útil para nuestros ojos.

O sea, del vatio, que equivale a 650 lumens, sólo se aprovecha una pequeña parte en sensacion de luz.

MAGNITUDES Y UNIDADES FUNDAMENTALES

Cada técnica tiene unas definiciones y unas unidades de medida que le son propias. En luminotecnia, las magnitudes fundamentales y unidades admitidas para su medición sirven para la comparación y valoración de las diversas fuentes luminosas que se encuentran ordinariamente en la práctica; para ello, las magnitudes fundamentales a considerar son las del flujo luminoso, intensidad luminosa, nivel de iluminación y luminancia.

Toda la teoría de la técnica de las mediciones se basa en admitir que el foco luminoso es puntiforme; es decir, debe suponerse que se encuentra reducido a un punto. La dificultad principal en desarrollar un sistema de unidades en luminotecnia reside en que ya existía un sistema antes de que se estableciesen con claridad los conceptos de radiación y sensación de luz que usted conoce. Los principios completos de la técnica de la medición de la luz fueron publicados por Lambert en 1760, cuarenta años antes de nacer Ampère y ciento diecinueve años antes de que Edison inventara la primera lámpara de incandescencia. Es decir, se estableció un sistema de unidades cuando aún no existían las eléctricas y antes de que la electricidad se aplicara a la técnica del alumbrado.

Teniendo en cuenta que, en la actualidad, la electricidad constituye la principal fuente de energía para alimentar los sistemas de alumbrado, la técnica de la iluminación debe descansar en un sistema de medidas basado en el *vatio-luz*. Esta unidad ya fue definida en el capítulo anterior; pero, como ya indicamos, es demasiado grande para tener aplicación práctica. Para medir la potencia luminosa de las fuentes convencionales, en la práctica se adopta el *lumen*, que es 650 veces más pequeño que el vatio-luz y que constituye la unidad de flujo luminoso o, mejor aún, el *factor de luminosidad de la radiación.*

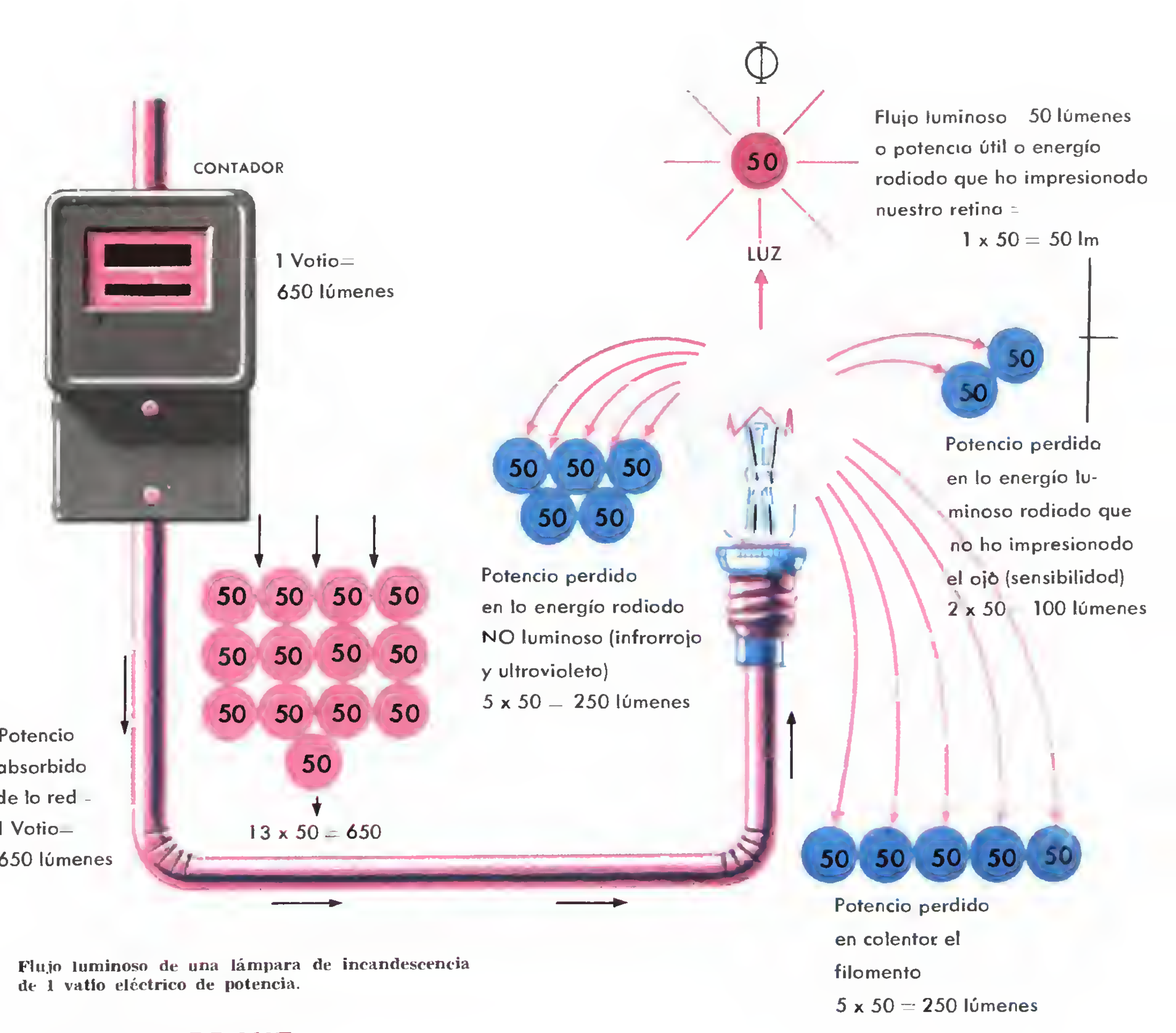
FLUJO LUMINOSO

El flujo luminoso y la intensidad de iluminación son características específicas del foco luminoso; el nivel de iluminación es una propiedad particular del alumbrado producido por el foco; los focos luminosos, al igual que los objetos iluminados, presentan una cierta luminancia.

De la misma forma que en diversas técnicas denominamos *potencia* a la energía transformada en cada unidad de tiempo (vatios, kilovatios, caballos de vapor, etc.), el *flujo luminoso* de una fuente o manantial de luz es la potencia luminosa de dicho elemento, o sea la energía radiada al espacio en una unidad de tiempo. Considerando que la fuente luminosa es alimentada por energía eléctrica, sabemos que en el caso ideal dicha fuente transformaría íntegramente cada vatio eléctrico (1 vatio = 1 julio × 1 segundo = 1 voltio × × 1 amperio) en un vatio-luz. Sabemos que, en la práctica, ello no es posible a causa de las pérdidas que mencionamos en el capítulo anterior.

Estas pérdidas se deben, en primer lugar, a que en toda transformación de energía el rendimiento no es nunca del 100 por 100. Ello también es válido en los focos luminosos que transforman la energía eléctrica en energía luminosa; el rendimiento es diferente según el tipo de foco. Así, en una lámpara incandescente, por ejemplo, la transformación se efectúa con mucha pérdida de energía al calentar el filamento para llevarlo a incandescencia. Este filamento constituye una resistencia; y como en toda resistencia, en ella se disipan muchos vatios en forma de calor. La energía efectivamente radiada tiene diferentes longitudes de onda que comprenden las visibles o luminosas, las infrarrojas y las ultravioletas; estas dos últimas representan una nueva pérdida de energía, ya que, para fines de alumbrado, no tienen aplicación. Finalmente, sabemos que la radiación luminosa con longitud de onda correspondiente al amarillo-verdoso es la única capaz de excitar al 100 % los elementos fotosensibles de nuestra retina; en cambio, para los otros colores dichos elementos tienen una sensibilidad que decrece muy rápidamente. Es decir, parte de las radiaciones efectivamente luminosas no excitan por completo nuestra retina, y de ahí se deduce que una parte de dichas radiaciones representa una pérdida de energía que es luminosa pero que no es útil para nuestros ojos.

O sea, del vatio, que equivale a 650 lúmens, sólo se aprovecha una pequeña parte en sensación de luz.



Flujo luminoso de una lámpara de incandescencia de 1 vatio eléctrico de potencia.

CANTIDAD DE LUZ

El trabajo efectuado por la energía en un tiempo determinado es equivalente al producto de la potencia por el tiempo transcurrido.

TRABAJO = POTENCIA × TIEMPO

Así, pues, 2 kilovatios utilizados durante 5 horas equivalen a una energía absorbida (trabajo) de 10 kilovatios-hora.

2 KW × 5 h = 10 KWh

De la misma forma, la cantidad de luz Q es el producto del flujo luminoso por el tiempo. Una lámpara que emita 1.000 lúmens de flujo luminoso durante 5 horas, da lugar a una cantidad de luz de 5.000 lúmens-hora.

CANTIDAD DE LUZ = FLUJO LUMINOSO × TIEMPO

$$Q = \Phi \times t$$

Lúmens-hora = Lúmens × horas

Lúmens-segundo = Lúmens × segundos

lmh = lm × h

lm.seg = lm × s

NIVEL DE ILUMINACION

El flujo luminoso emitido por cualquier manantial de luz se distribuye en el espacio en todas direcciones. Esta distribucion no es la misma en cada direccion, sino que depende del tipo de ma-

nantial (lámpara, tubo, etc.) y del tipo de aparato de iluminación (pantalla, globo, reflector, proyector, etc.). Ello quiere decir que los diferentes objetos que se encuentren en la zona de influencia de las radiaciones luminosas emitidas por un foco luminoso recibirán un flujo más o menos elevado por metro cuadrado de superficie.

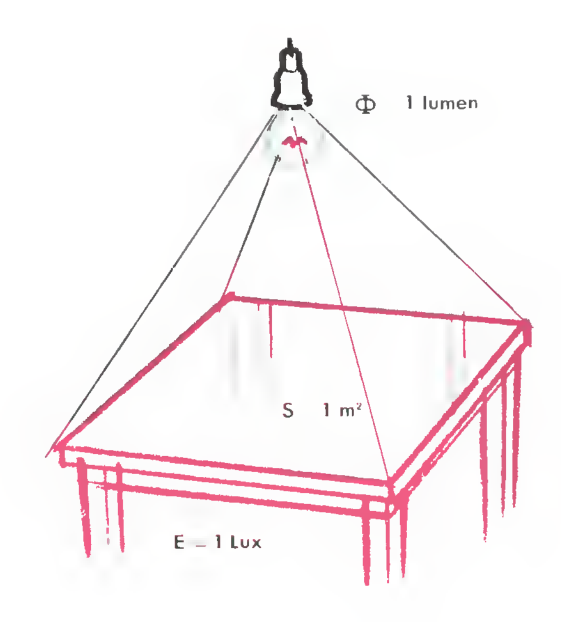
La unidad de iluminación es el lumen por metro cuadrado, más conocido con el nombre de *lux*.

El símbolo de la *iluminación*, o *nivel de iluminación*, de una superficie es E y representa la relación entre el flujo luminoso que recibe una superficie y su área. Por ello, a veces también se le denomina densidad de flujo luminoso.

$$\text{Iluminación} = \frac{\text{Flujo luminoso}}{\text{Superficie}} \qquad E = \frac{\Phi}{S}$$

$$\text{Lúmens por m}^2 = \text{Lux} = \frac{\text{Lúmens}}{\text{Metros cuadrados}}$$

$$\text{Lx} = \frac{\text{lm}}{\text{m}^2}$$



Si la lámpara radia hacia la mesa, que tiene una superficie de 1 m², un flujo luminoso de 1 lumen, diremos que en la mesa existe un nivel de iluminación de 1 lux.

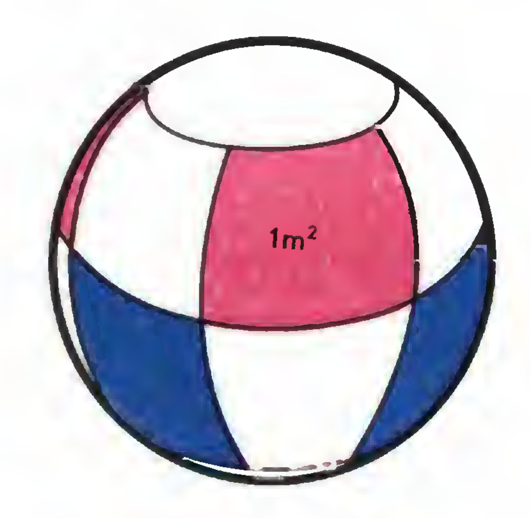
EL ANGULO SOLIDO

La superficie de un círculo es equivalente al cuadrado del radio del mismo multiplicado por la constante $\pi = 3'1416$.

Superficie del círculo $= \pi r^2 = 3'14 \times r^2$

La superficie de una esfera equivale a cuatro veces el producto de dicha constante por el radio de la misma al cuadrado.

Superficie esfera $= 4 \times 3'14 \times r^2 = 12'56 \times r^2$



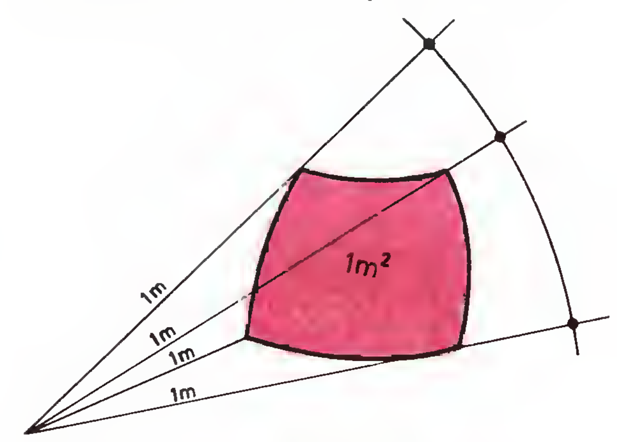
Balón de playa de 2 m de diámetro (1 m de radio) con 12'5 parches de color de 1 m².

Si la esfera tiene 1 metro de radio, su superficie valdrá:

$$S = 4\,\pi \times 1^2 = 4 \times 3'14 \times 1\ \text{m}^2 = 12'56 \times 1\ \text{m}^2$$

Es decir, dicha esfera tiene 4 π, o 12'56 veces 1 m².

Imaginemos un gran balón de playa de 2 metros de diámetro (r = 1 m) con 12'5 parches de diferente color de 1 m² de superficie cada uno.



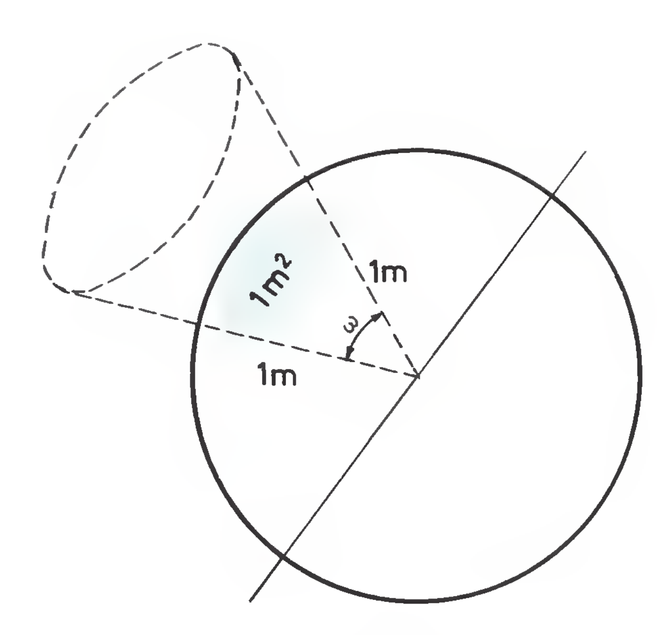
Si desde el centro del balón o de la esfera atamos cuatro cuerdas de 1 m de longitud cada una (radios) a cada extremo del parche de 1 m de superficie, dichas cuerdas formarán entre sí un ángulo sólido α.

El *ángulo sólido* puede definirse como un ángulo, ω, en el espacio que recorta una superficie de 1 m^2 en una esfera de 1 metro de radio.

El conjunto de ángulos sólidos que caben en una esfera es de 4 π, o sea, una esfera contiene 12'56 ángulos sólidos ω.

En luminotecnia, el ángulo sólido se expresa mucho mejor por el ángulo comprendido en un sector cónico de 1 metro de generatriz sobre un casquete esférico de 1 m^2 de superficie.

Este ángulo sólido unidad se denomina *estereorradián*.



Angulo sólido formado por un cono cuyo vértice coincide con el centro de una esfera de 1 m de radio y cuya intersección con la superficie de la esfera corta un casquete de 1 m^2.

INTENSIDAD LUMINOSA

Hemos indicado que el flujo luminoso radiado por un foco no se reparte por igual en todas las direcciones del espacio. Es decir, la densidad de flujo no es la misma en todas las direcciones. La densidad del flujo luminoso en una dirección dada se denomina *intensidad luminosa*, I; se define como el flujo luminoso comprendido en un ángulo sólido unidad considerado en una dirección dada (desde luego, siempre considerando que el foco luminoso es puntiforme; es decir, considerándolo reducido a un punto y que este punto es el vértice del cono que forma el ángulo sólido).

$$\text{Intensidad luminosa} = \frac{\text{Flujo luminoso}}{\text{Angulo sólido}}$$

$$I = \frac{\Phi}{\omega}$$

La unidad de intensidad luminosa en una dirección dada se denomina *candela*, cd. Esta intensidad será de 1 candela cuando el flujo luminoso emitido en dicha dirección sea de 1 lumen por estereorrodián.

$$1 \text{ candela} = \frac{1 \text{ lumen}}{1 \text{ estereorradián}}$$

$$1 \text{ cd} = \frac{1 \text{ lm}}{1 \text{ esterad}}$$

Resulta erróneo e inexacto comparar la intensidad luminosa de un manantial sin más datos que el conocimiento de las intensidades luminosas en una dirección determinada, ya que en otra dirección pueden ser diferentes; y por ello no podemos formar una idea exacta del flujo emitido.

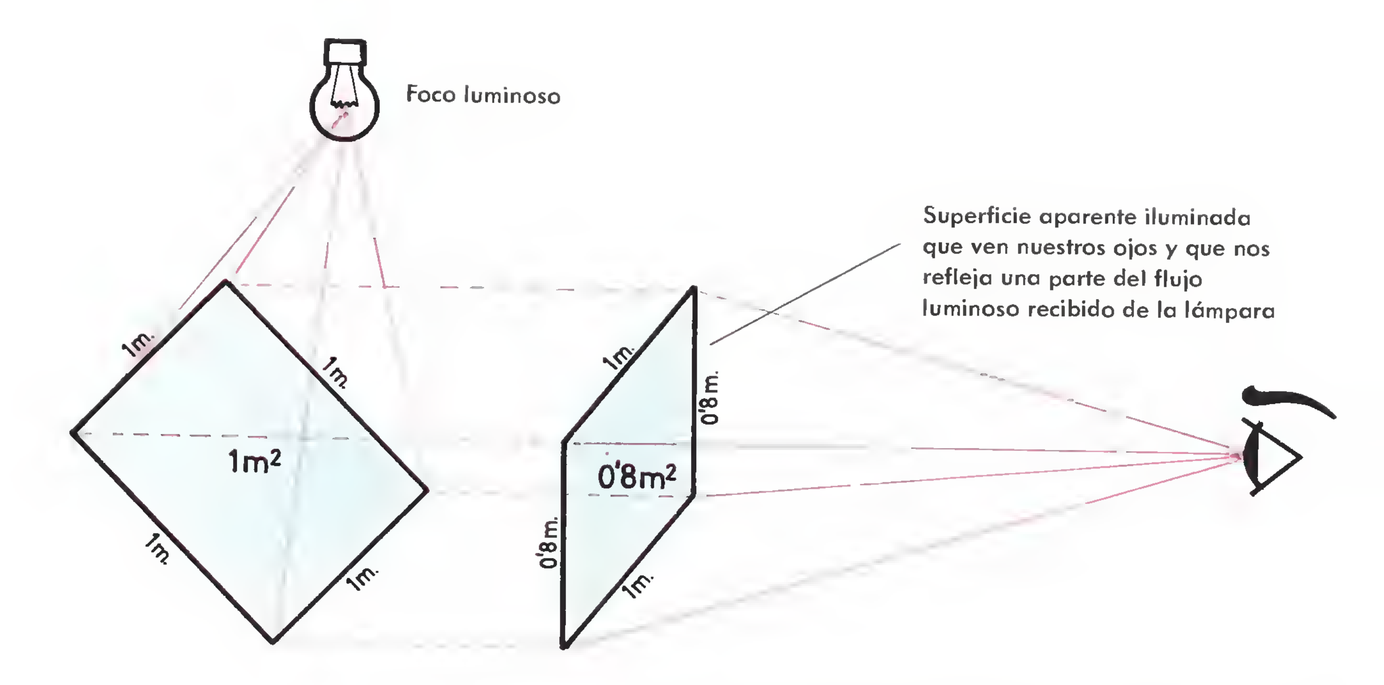
La intensidad luminosa, por tanto, nos da idea de cómo se reparte entre las diversas direcciones el flujo emitido por una fuente de luz; es decir, nos indica cuál es la distribución espacial del flujo luminoso.

LUMINANCIA

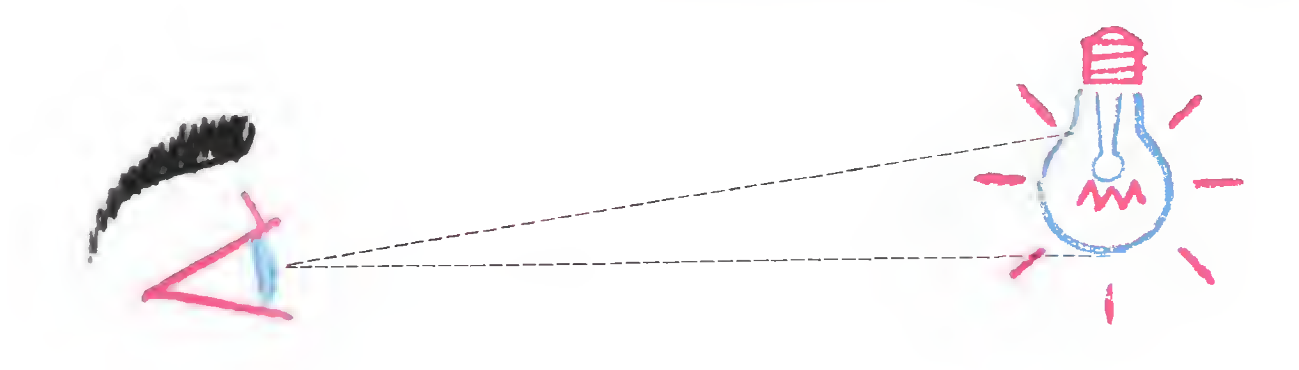
La *luminancia* es la intensidad luminosa emitida por cada unidad de *superficie visible* del foco luminoso; o también la intensidad luminosa reflejada por cada unidad de *superficie aparente* iluminada por un foco luminoso.

Siempre le hemos hecho suponer que un foco luminoso debe considerarse, en teoría, puntiforme; pero usted sabe muy bien que en la realidad no es así. Si mira hacia una lámpara que radia al espacio cierto flujo luminoso, usted no verá un punto luminoso, sino el perfil de una ampolla de vidrio que, en la dirección que va de ella a sus ojos, emite una cierta intensidad luminosa por centímetro cuadrado de superficie del perfil. O sea, tiene una cierta *luminancia*, que hasta hace poco se llamaba brillo y que en lenguaje popular aún sigue llamándose así.

Lo mismo puede decirse de la luminancia de un objeto que refleja un flujo luminoso recibido de un foco externo a él.



El cuadro de 1 m de lado, cuya superficie es 1 × 1 = 1 m², está algo inclinado hacia el suelo, y por ello nuestros ojos lo interpretan como un rectángulo de 1 m de base y 80 cm de altura; es decir, una superficie aparente de 1 × 0'8 = 0'8 m². Este cuadrado es de metal pulido, y al ser iluminado por un foco luminoso nos parece luminoso (lo vemos brillante). Es decir, vemos un rectángulo de 1 × 0'8 metros que tiene una cierta luminancia.



Al mirar una lámpara que radia cierto flujo luminoso, vemos un disco que tiene cierto brillo o luminancia.

La luminancia, B, siempre es la relacion entre la intensidad luminosa en una dirección determinada y una superficie.

$$\text{Luminancia} = \frac{\text{Intensidad luminosa}}{\text{Superficie visible}}$$

$$B = \frac{I}{S'}$$

La superficie siempre es la visible; es decir, la aparente. Según que sea una superficie luminosa por ella misma o iluminada por un foco externo, la luminancia de dicha superficie podrá expresarse como *brillo emitido* o *brillo reflejado*. Esta distinción debe tenerse siempre en cuenta, ya que la luminancia es el concepto luminotécnico que expresa la sensación de luz que experimentamos al observar un manantial luminoso o un objeto iluminado; y aunque varios objetos estén igualmente iluminados, veremos unos mas claros que otros porque los primeros tendrán más luminancia que los segundos.

La unidad de luminancia B es la *candela por metro cuadrado*; corresponde a la luminancia producida por una intensidad luminosa de 1 candela en una superficie de 1 metro cuadrado.

$$1\ \text{cd/m}^2 = \frac{1\ \text{cd}}{1\ \text{m}^2}$$

RESUMEN DE MAGNITUDES Y UNIDADES FUNDAMENTALES

MAGNITUD			UNIDAD		
Concepto	Símbolo	Fórmula	Denominación	Símbolo	Fármula
Flujo luminaso	Φ		Lúmen	lm	
Contidad de luz	Q	$= \Phi \times$ tiempo	Lúmen-hora	lmh	lm · h
Iluminación (nivel de)	E	$\frac{\Phi}{\text{superficie}}$	Lux	Lx	$\frac{lm}{m^2}$
Intensidad luminoso		$\frac{\Phi}{\omega}$ (ω ángulo sólido)	Candelo	cd	$\frac{lm}{esterad}$
Luminancia	B	$\frac{I}{\text{superficie aparente}}$	Candela por metro cuadrado	cd m²	$\frac{cd}{m^2}$

Las unidades luminotécnicas descritas y resumidas en la tabla son las que deben emplearse. Forman un conjunto o sistema de unidades basado en el vatio-luz, o simplemente en el vatio, que es la unidad de potencia en la mayoría de ramas de la ciencia (electricidad, mecánica, etc.). Estas unidades están reconocidas internacionalmente, y a veces se emplean sus derivadas en múltiplos y submúltiplos. En ciertos países aún subsisten unidades derivadas de conceptos anteriores al conocimiento de la luz como radiación electromagnética y al empleo de la electricidad para la producción de energía luminosa. Estas últimas deben considerarse como unidades anticuadas. También existen otras que provienen del empleo de sistemas que no son el métrico decimal, las cuales también están en vías de sustitución al igual que tales sistemas.

A continuación se indican las equivalencias entre las unidades del sistema vatio-luz correspondientes a la magnitud considerada y aquellas derivadas de otros sistemas.

UNIDADES DE FLUJO LUMINOSO

1 lumen equivale a ... ... 1 bujía por m²

UNIDADES DE ILUMINACIÓN

1 lux equivale a ... ... 0'001 Phot

0'1 Miliphot

0'093 Footcandle

UNIDADES DE INTENSIDAD LUMINOSA

1 candela equivale a ... .

0'98 bujía internacional

1'09 bujía Hefner

1'02 bujía Carcel

0'94 bujía Vernon

UNIDADES DE LUMINANCIA

1 candela m² equivale a:

1 Nit

0'0001 Stilb

0'093 Candela por pie cuadrado

3'1416 Apostilb

0'0001 Candela por cm²

3'1416 Blondel

0'000314 Lambert

0'29 Foot Lambert

RELACION ENTRE EL FLUJO LUMINOSO Y LA INTENSIDAD LUMINOSA

Un foco luminoso que radie en todas direcciones con una intensidad luminosa de 1 candela da lugar a un flujo luminoso de 1 lumen en cada ángulo sólido unidad; o sea, un flujo total de

4 π lúmens (12'56 lúmens). En la práctica no existe ningún foco luminoso que radíe con una misma intensidad luminosa en todas las direcciones, y por ello se habla frecuentemente de intensidad luminosa media.

$$\Phi = 4\pi \times I = 12'56\ I$$

RELACION ENTRE EL NIVEL DE ILUMINACION Y EL FLUJO ELECTRICO

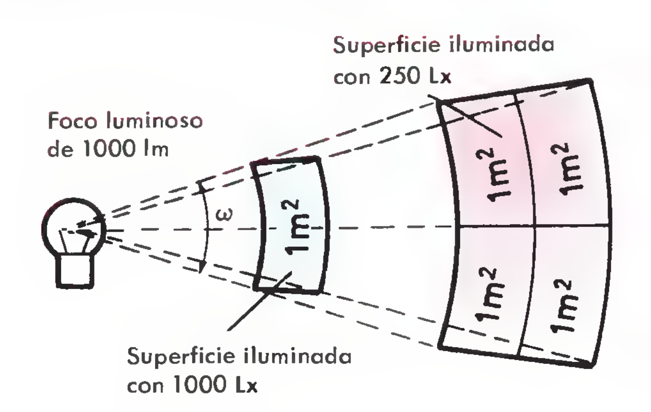
Si recordamos la fórmula del nivel de iluminación, veremos que para un flujo luminoso dado la iluminación es inversamente proporcional a la superficie iluminada.

Si un foco luminoso de 1.000 lúmens ilumina una superficie de 1 m², el nivel de iluminación en dicha superficie será de 1000 lux.

$$E = \frac{\Phi}{S} = \frac{1000\ \text{lm}}{1\ \text{m}^2} = 1000\ \text{lux}$$

El mismo flujo luminoso sobre una superficie de 4 m² dará lugar a un nivel de iluminación de 250 lux.

$$E = \frac{\Phi}{S} = \frac{1000\ \text{lm}}{4\ \text{m}^2} = 250\ \text{lux}$$



Para un flujo luminoso dado, el nivel de iluminación es inversamente proporcional a la superficie iluminada.

RELACION ENTRE EL NIVEL DE ILUMINACION Y LA INTENSIDAD LUMINOSA

Un manantial luminoso puntiforme que radía con una misma intensidad luminosa en todas direcciones ilumina la superficie S_1 colocada a la distancia d_1 y produce en ella un nivel de iluminación E_1. A una distancia doble d_2, el mismo ángulo sólido abarca una superficie S_2 cuatro veces mayor; a una distancia triple de la primera d_3, la superficie abarcada es nueve veces más grande. Pero como el flujo luminoso es el mismo en los tres casos, el nivel de iluminación E_2 y E_3 de las superficies S_2 y S_3 será respectivamente la cuarta y la novena parte de E_1.

FLUJO LUMINOSO Φ = Constante

Distancia de S_1 al foco = d_1

Distancia de S_2 al foco = $d_2 = 2 \times d_1$

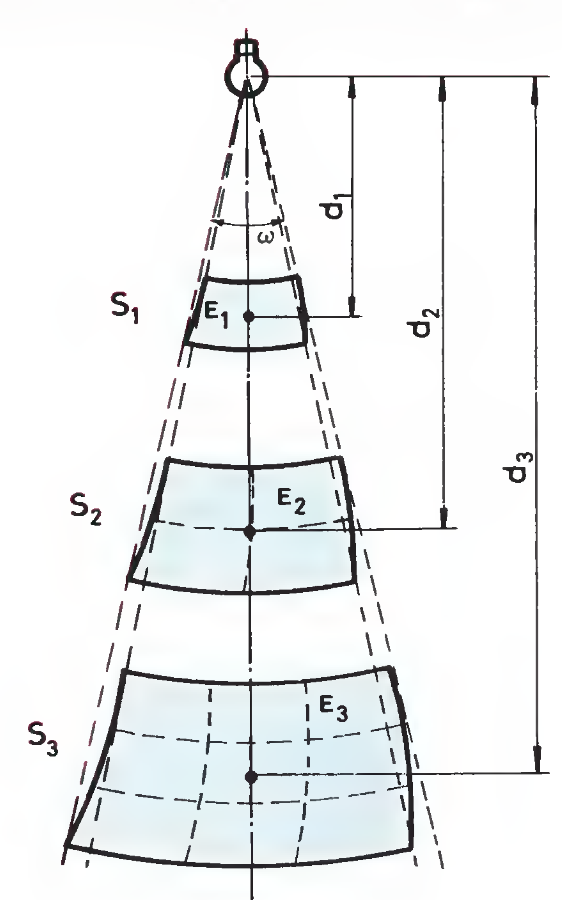
Distancia de S_3 al foco = $d_3 = 3 \times d_1$

SUPERFICIE QUE ABARCA EL ÁNGULO SÓLIDO ω:

A la distancia $d_1 = S_1$

A la distancia $d_2 = S_2 = 2^2\ S_1 = 4\ S_1$

A la distancia $d_3 = S_3 = 3^2\ S_1 = 9\ S_1$



ILUMINACIÓN PRODUCIDA EN LA SUPERFICIE $S_1 = E_1$

$$\text{En } S_2 = E_2 = \frac{E_1}{2^2} = \frac{F}{4}$$

$$\text{En } S_3 = E_3 = \frac{E_1}{3^2} = \frac{E_1}{9}$$

En los tres casos, la intensidad luminosa es la misma. De lo que precede puede enunciarse la siguiente ley fundamental, o ley de la inversa del cuadrado de la distancia fotométrica:

EL NIVEL DE ILUMINACIÓN SOBRE UNA SUPERFICIE SITUADA PERPENDICULARMENTE A LA DIRECCIÓN DE LA RADIACIÓN ES DIRECTAMENTE PROPORCIONAL A LA INTENSIDAD LUMINOSA DEL FOCO, E INVERSAMENTE PROPORCIONAL AL CUADRADO DE LA DISTANCIA QUE LA SEPARA DEL MISMO.

$$E = \frac{I}{d^2}$$

Como la intensidad luminosa es constante, si conocemos la iluminación E_1 de una superficie distante d_1 del foco luminoso podemos calcular la de otra distante d_2 del mismo foco y en la misma dirección.

$$\frac{E_2}{E} = \frac{d_1^2}{d_2^2}; \quad E_2 = \frac{E_1\, d_1^2}{d_2^2}$$

$$E_1\, d_1^2 = E_2\, d_2^2$$

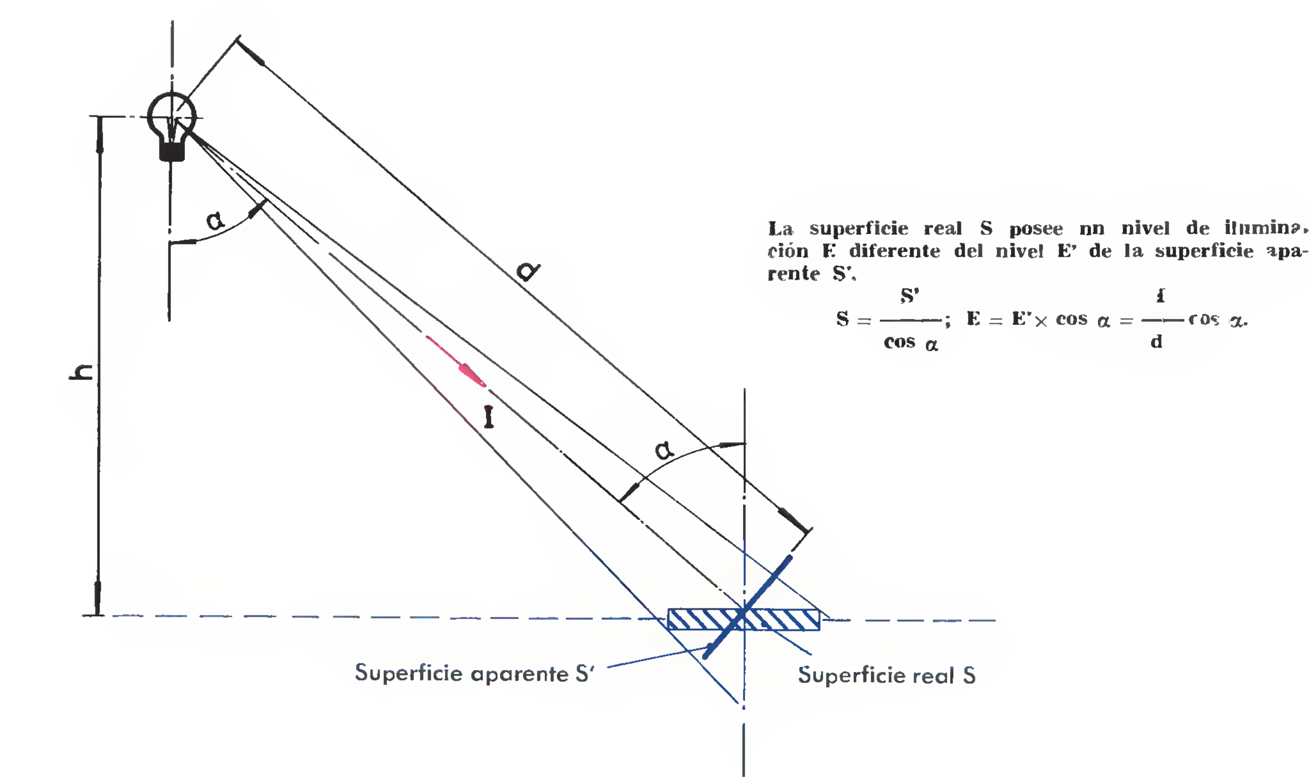
El nivel de iluminación de una superficie expuesta a una intensidad luminosa de 360 candelas vale:

A 1 m de distancia ... ... $\frac{360}{1} = 360$ lux

A 2 m de distancia ... ... $\frac{360}{2^2} = \frac{360}{4} = 90$ lux

A 3 m de distancia ... ... $\frac{360}{3^2} = \frac{360}{9} = 40$ lux

La ley de la inversa de los cuadrados de las distancias solamente es válida cuando se trata de una superficie situada perpendicularmente a la dirección del flujo luminoso. En la realidad ello no siempre es así, porque con frecuencia la luz incide sobre una superficie según un cierto ángulo α. En realidad la ley anterior sería válida, en este caso, para la superficie aparente observada desde el foco luminoso; pero como la superficie real es otra (mayor) el nivel de iluminación será diferente (menor).

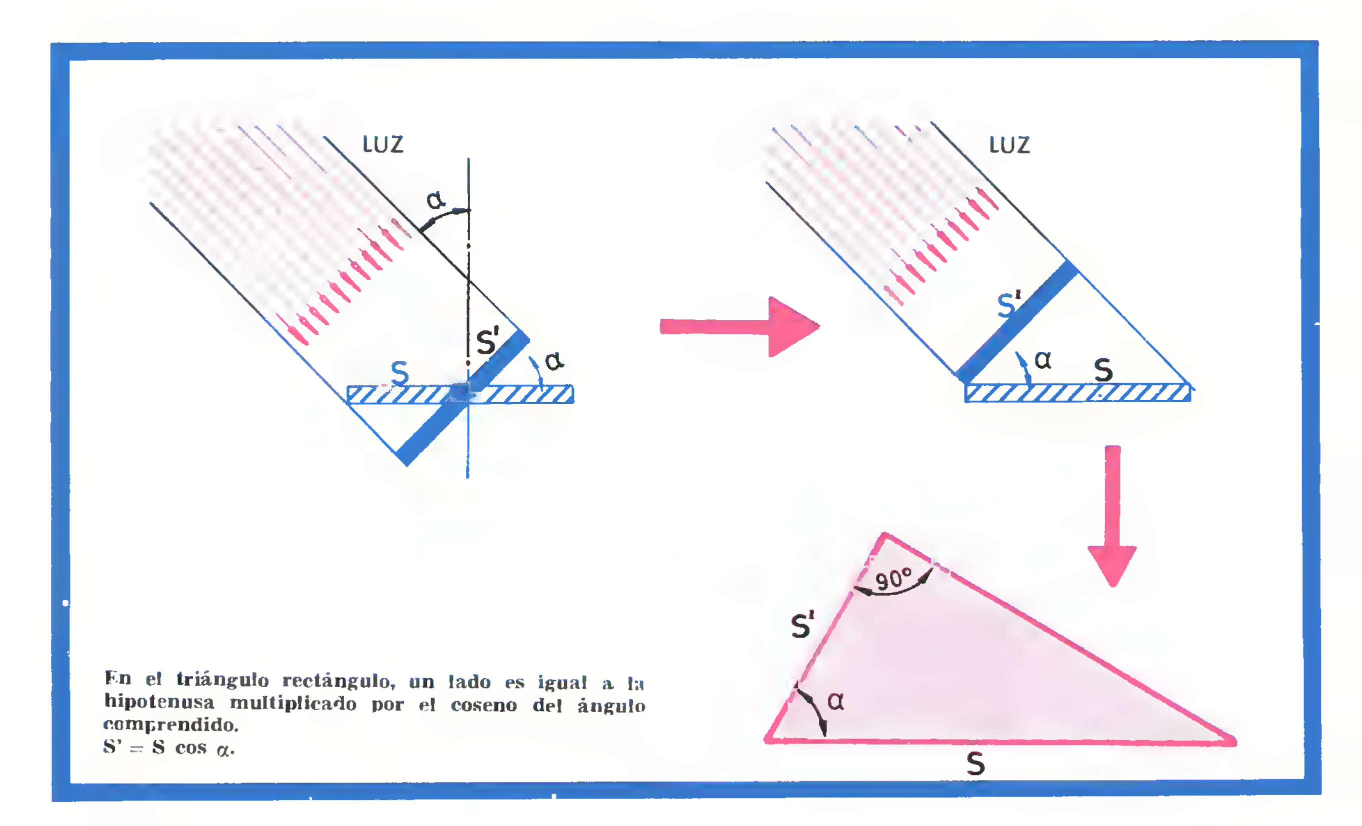


La superficie real S posee nn nivel de iluminación E diferente del nivel E' de la superficie aparente S'.

$$S = \frac{S'}{\cos \alpha}; \quad E = E' \times \cos \alpha = \frac{I}{d} \cos \alpha.$$

Es decir, si sobre la superficie aparente S', perpendicular al foco luminoso, incide una intensidad luminosa I, siendo d la distancia fotométrica, el nivel de iluminación en la superficie S' será: $E' = \frac{I}{d^2}$. Pero sabemos por trigonometría que la superficie real S, que forma ángulo respecto a la superficie aparente S', es igual al cociente de esta última por el coseno del ángulo formado α. O sea:

$$S = \frac{S'}{\cos \alpha}; \quad S' = S \cos \alpha$$



En el triángulo rectángulo, un lado es igual a la hipotenusa multiplicado por el coseno del ángulo comprendido.
$S' = S \cos \alpha$.

Como sabemos que la iluminación es inversamente proporcional a la superficie:

$$E = \frac{\Phi}{S} = \frac{\Phi}{\frac{S'}{\cos \alpha}} = \frac{\Phi}{S'} \cos \alpha;$$

$$E' = \frac{\Phi}{S'}$$

y como el flujo luminoso es el mismo para las dos superficies:

$$\Phi = \frac{E \times S'}{\cos \alpha} = E' \times S'$$

$$\frac{E}{\cos \alpha} = E'$$

$$E = E' \times \cos \alpha$$

y como $E' = \frac{I}{d^2}$, el nivel de iluminación E de la superficie real S será:

$$E = E' \times \cos \alpha = \frac{I}{d^2} \cos \alpha$$

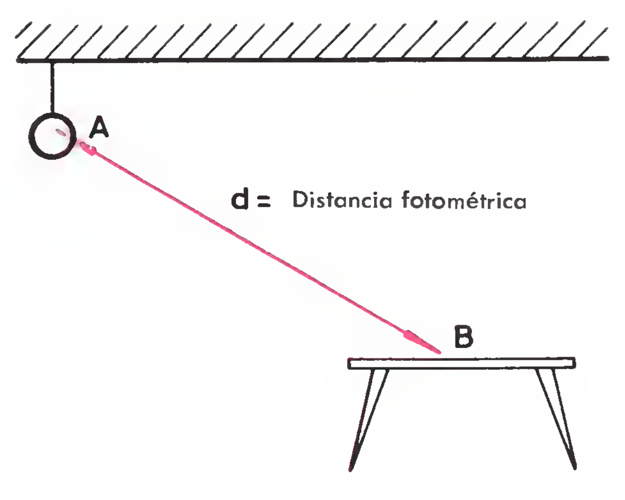
O sea, si la superficie iluminada por un foco no es perpendicular a la dirección de éste, la anterior ley de la inversa del cuadrado de la distancia debe aplicarse según otra ley, la *ley del coseno*:

La iluminación es proporcional al coseno del ángulo de incidencia de los rayos luminosos en el punto iluminado.

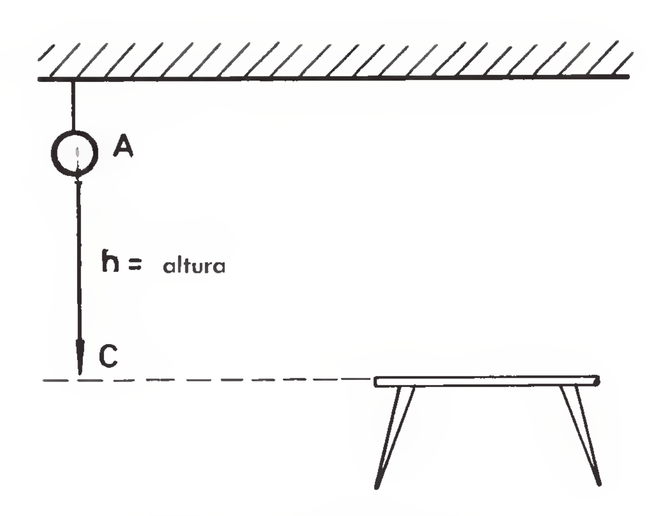
$$E = \frac{I}{d^2} \cos \alpha$$

En la práctica es más fácil medir la altura existente entre el foco luminoso y la superficie iluminada (o su prolongación) que la distancia en oblicuo (distancia fotométrica) existente entre ellos.

Por ello conviene sustituir, en la fórmula de la ley del coseno, la distancia d por la altura **h**;



La distancia fotométrica A-B es bastante difícil de medir directamente.



La altura A-C es muy fácil de medir.

ello es fácil si recordamos por trigonometría del triángulo rectángulo que

$$h = d \times \cos \alpha \ \text{y} \ d = \frac{h}{\cos \alpha}$$

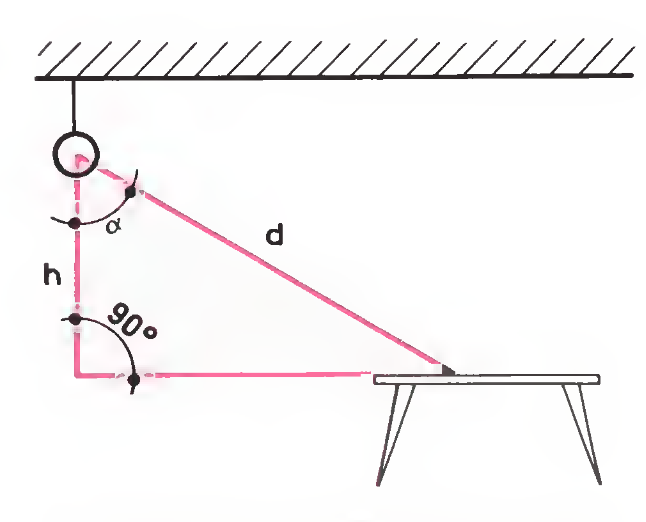
Sustituyendo en la fórmula de la ley del coseno:

$$E = \frac{I}{d^2} \cos \alpha = \frac{I}{\dfrac{h}{\cos \alpha}} \cos \alpha$$

$$= \frac{I}{h^2} \cos \alpha^2 \times \cos \alpha = \frac{I}{h^2} \cos \alpha$$

$$E = \frac{I}{h^2} \cos \alpha^3$$

Para facilitar los cálculos, a continuación se indican los cubos de los cosenos de los ángulos comprendidos en el ángulo recto, de 5 en 5 grados.



Por trigonometría del triangulo rectangulo, sabemos que un lado es igual a la hipotenusa multiplicado por el coseno del ángulo comprendido.

$$h = d \cdot \cos \alpha; \ d = \frac{h}{\cos \alpha}$$

α	$\cos^3 \alpha$	α	$\cos^3 \alpha$	α	$\cos^3 \alpha$
0	1	30	0,649	60	0,125
5	0,988	35	0,549	65	0,075
10	0,953	40	0,449	70	0,040
15	0,899	45	0,353	75	0,017
20	0,828	50	0,265	80	0,005
25	0,749	55	0,188	90	0

RELACION ENTRE LA LUMINANCIA Y LA INTENSIDAD LUMINOSA

Recordaremos que en el estudio de la luminancia de un foco luminoso o de un objeto iluminado siempre hemos de tener en cuenta la forma bajo la cual uno u otro aparece a nuestros ojos; es decir, la superficie visible o aparente. Si el estudio de la luminancia se complica al no poder considerar la fuente de luz como puntiforme, las relaciones entre dicha magnitud y la intensidad luminosa se complican aún más, ya que dependen de muchos factores que no permiten establecer una regla general exacta. En efecto, sus dependencias con la intensidad luminosa variarán según que el foco luminoso o el objeto iluminado sea esférico o plano, de si es difusor, reflectante o traslúcido, del tipo de armadura de que está provisto, etc.

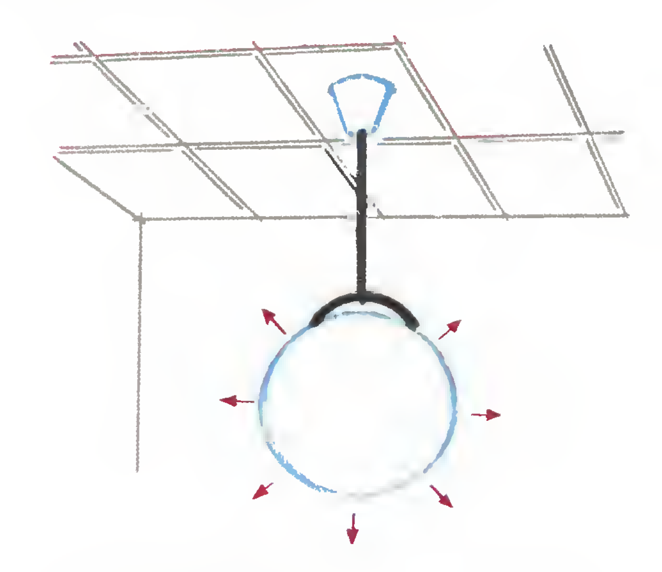
Para establecer las bases de estas relaciones, cuya exactitud debe determinarse según las características particulares de cada caso, hemos de referirnos a dos cosas ideales, como son: el foco luminoso esférico perfectamente difusor y el plano perfectamente traslúcido o perfectamente reflectante.

Un foco luminoso esférico distribuye la radiación luminosa de una forma similar a la de un manantial luminoso puntiforme. Un tal foco, constituido por una esfera o globo, siempre se presenta a nuestros ojos como un disco luminoso (superficie aparente) cuando lo miramos desde una dirección cualquiera. Si el diámetro de la esfera es *d*, también lo será del círculo o superficie aparente que se presenta a nuestros ojos, la cual valdrá:

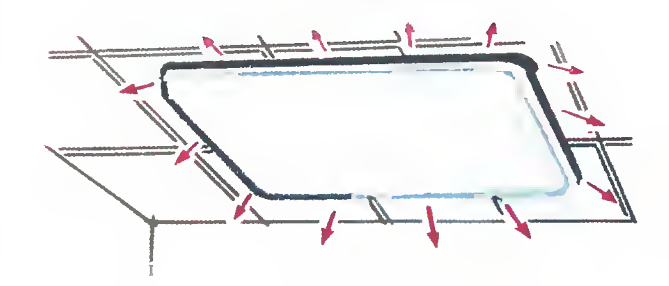
$$S = \pi \; r^2 = \pi \left(\frac{d}{2} \right)^2 = \frac{\pi \; d^2}{4}$$

Además, como consideramos el caso ideal de que dicho globo luminoso esférico es perfectamente difusor (distribuye por igual el mismo flujo luminoso en todas las direcciones), la intensidad luminosa es la misma en todas las direcciones. Es decir, desde cualquier dirección en que lo observemos, la luminancia de un difusor esférico será:

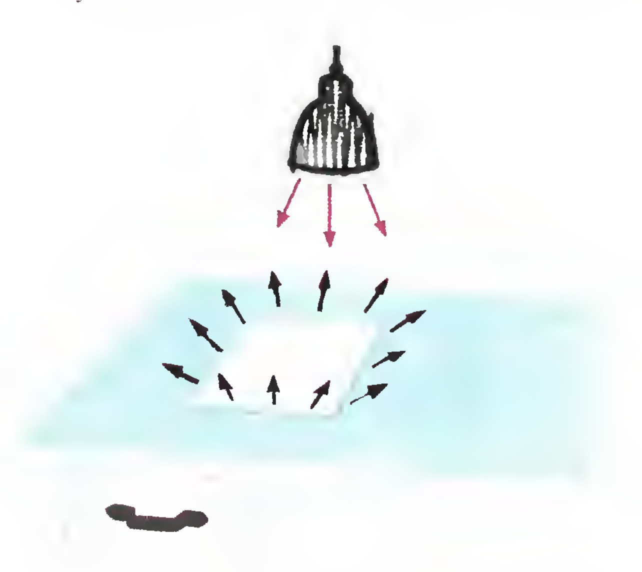
$$B = \frac{I}{S} = \frac{I}{\frac{\pi \; d^2}{4}} = \frac{4 \; I}{\pi \; d^2}$$



Foco luminoso esférico que más se aproxima al caso ideal de perfectamente difusor de la luz.



Superficie luminosa plana de vidrio opalino, muy parecida al caso ideal de perfectamente traslúcida y difusora de la luz.



Superficie iluminada plana de papel mate, muy parecida al caso ideal de perfectamente reflectante y difusora de la luz.

En el caso de una superficie plana, la cuestión se presenta bajo un aspecto muy diferente para la intensidad luminosa, aunque el resultado es el mismo para la luminancia.

Para simplificar, consideremos el caso ideal de una superficie plana perfectamente difusora de la luz; es decir perfectamente reflectante o perfectamente traslucida, como casi siempre es el caso del papel mate o del vidrio opalino.

Si la superficie plana luminosa procura una difusión total de la luz, la intensidad luminosa será proporcional a la superficie visible del foco. Es decir, variará según sea la direccion desde la cual observemos dicho foco luminoso u objeto iluminado.

Si la línea de visión o direccion de observacion es perpendicular a la superficie luminosa, esta aparecerá delante de nuestros ojos en su verdadera magnitud S y la intensidad luminosa en dicha direccion será maxima, Im; de donde la luminancia de la superficie sera:

$$B = \frac{Im}{S}$$

Ahora bien, si la linea de vision o direccion de observación forma un ángulo dado α con la perpendicular a la superficie luminosa, la intensidad I α será menor, variando proporcionalmente con el ángulo α formado.

$$\frac{I\alpha}{Im} = \frac{\cos\alpha}{\cos 0^\circ\ (=1)}$$

$$I\alpha = Im \times \cos\alpha$$

Sabemos que vemos como tal la superficie S cuando nos situamos perpendicularmente a ella; pero si la observamos desde una dirección que forme un ángulo α con la de la anterior situación, dicha superficie aparecerá más pequeña a nuestros ojos. Es la superficie S' aparente o visible, que, como ya sabemos, también varía proporcionalmente con el coseno del ángulo α formado.

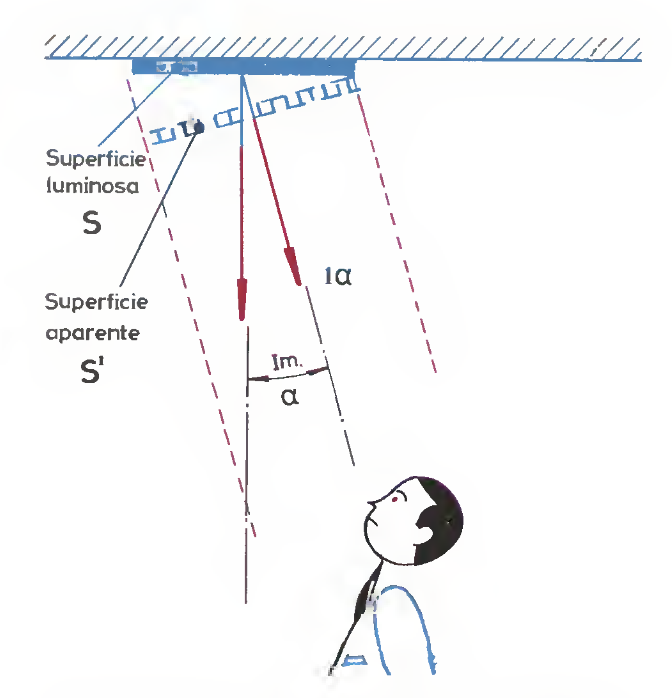
$$S' = S\cos\alpha$$

Y si observamos la superficie plana luminosa bajo dicho ángulo α, la luminancia de la superficie será:

$$B = \frac{I\alpha}{S'}$$

y si sustituimos valores,

$$B = \frac{I\alpha}{S'} = \frac{Im \times \cos\alpha}{S \times \cos\alpha} = \frac{Im}{S}$$



Un observador no situado debajo mismo de la luminaria, ve esta según una dimensión aparente menor que la real y percibe una intensidad luminosa menor que la correspondiente a la perpendicular de la superficie luminosa.

O sea, CUANDO SE OBSERVA UNA SUPERFICIE LUMINOSA PERFECTAMENTE DIFUSORA DE LA LUZ, LA INTENSIDAD LUMINOSA Y LA SUPERFICIE VISIBLE VARÍAN PROPORCIONALMENTE CON EL COSENO DEL ANGULO FORMADO POR LA DIRECCIÓN DE OBSERVACIÓN Y LA PERPENDICULAR A LA SUPERFICIE LUMINOSA, PERO LA LUMINANCIA DEL MISMO SIEMPRE SERÁ LA MISMA EN TODAS LAS DIRECCIONES.

$$B = \frac{I}{S}$$

Desde luego, los focos considerados anteriormente son ideales, ya que en la mayor parte de los casos prácticos, si bien la superficie aparente es siempre un círculo en toda esfera y es siempre proporcional al coseno del ángulo en todas las superficies planas, en cambio la intensidad luminosa no sigue estas reglas en la realidad; ni es exactamente la misma en las superficies luminosas esféricas ni varía proporcionalmente al coseno del ángulo α en las superficies luminosas planas. Como veremos más adelante, en la práctica la intensidad luminosa debe deducirse en cada caso del diagrama de distribucion espacial que ha sido medido y trazado especialmente por el fabricante del dispositivo luminoso considerado.

RELACION ENTRE LA LUMINANCIA Y EL FLUJO LUMINOSO

Como $I = \frac{\Phi}{4\pi}$, en manantiales luminosos esféricos o puntiformes, la luminancia vale:

$$B = \frac{4I}{\pi d^2}$$

y en función del flujo luminoso: $B = \frac{\Phi}{\pi^2 d^2}$

En superficies difusoras planas la intensidad luminosa en sentido perpendicular a la superficie es máxima; dicha superficie es visible en toda su magnitud y se verifica:

$$Im = \frac{\Phi}{\pi}$$

de donde la luminancia será:

$$B = \frac{\Phi}{\pi S}$$

* * * * *

FOTOMETRIA

EL CUERPO NEGRO

Toda técnica tiene sus mediciones. En luminotecnia, la fotometría tiene por objeto determinar la intensidad de los focos luminosos y el nivel de iluminación recibido sobre las superficies situadas en el espacio. A consecuencia del carácter puramente fisiológico de la percepción de la luz, a la cual sólo es sensible el órgano de la visión, y a que éste, como usted recordará, sólo es capaz de distinguir entre una igualdad o una diferencia si las condiciones le son favorables, aprovechando esta cualidad tan exigua y admitiendo como unidad básica la de intensidad luminosa producida por un manantial de tal naturaleza que pueda reproducir fácilmente y con exactitud el flujo luminoso, se puede obtener instrumentos de medida de suficiente precisión que se basan siempre en la unidad de intensidad luminosa. Esta unidad debe ser invariable para ser básica; es decir, debe corresponder a la luz radiada de manera uniforme en una dirección determinada por un manantial de luz patrón.

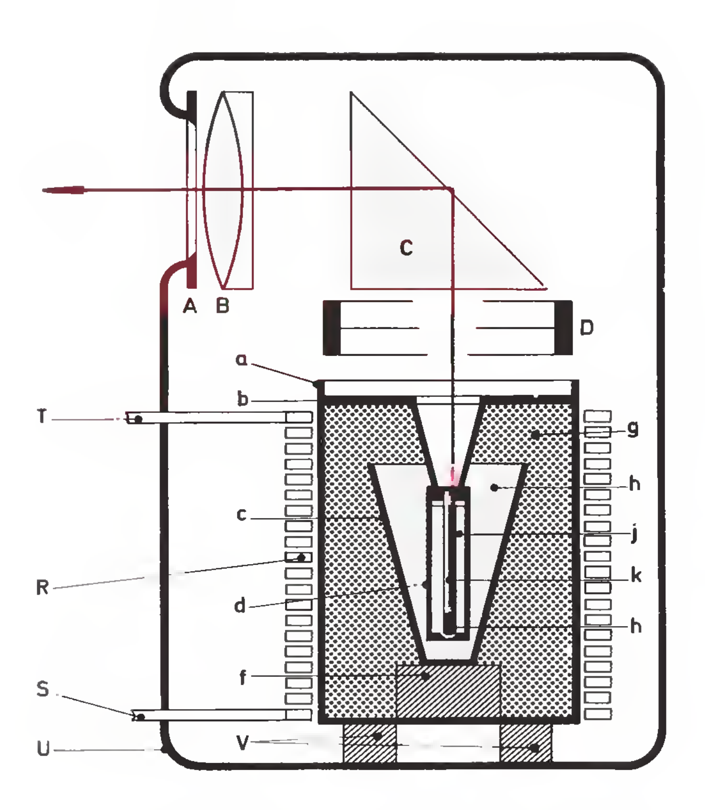
En teoría un manantial de luz patrón debe satisfacer las exigencias siguientes:

— Máxima sencillez y mínimo coste.
— Las intensidades luminosas producidas por diferentes manantiales patrones correspondientes a un mismo modelo o tipo deben ser prácticamente constantes.
— El flujo luminoso debe producirse en la forma normal y su intensidad no debe variar prácticamente durante todo el tiempo en que se utilice el manantial patrón.
— La composición espectral de la luz producida debe ser constante y corresponder con la de las fuentes normales.
— Las condiciones ambientales externas no deben afectar a sus características típicas.
— Debe consumir energía producida a bajo coste.

Por desgracia todos estos requisitos no pueden ser satisfechos conjuntamente por un manantial luminoso patrón. Indiscutiblemente, desde los inicios de la fotometria, la construcción y la adopción de nuevos patrones cada vez más perfeccionados ha permitido que una mayor parte de dichas exigencias sean satisfechas en parte o totalmente. Así, si bien el físico Lambert publicó en 1760 su libro *Fotometria*, que trataba de dicha técnica y de sus cálculos en forma muy completa para la época, hasta 1897 no se adoptó el primer patrón fotométrico práctico, ideado por Von Hefner-Alteneck. Este manantial luminoso patrón estaba constituido por la llama obtenida en una lámpara de mecha, cuya composición y espesor están bien determinados, y que utiliza como combustible el acetato de amilo o aceite de banana puro. La intensidad luminosa producida por este manantial patrón, en una dirección horizontal, cuando su llama se ajustaba a una longitud de 40 mm, constituía la unidad patrón en Alemania y en muchos otros países: la *bujía Hefner*. Recordemos que una candela equivale a 1'09 bujías Hefner. El nombre de *bujía* dado a la intensidad luminosa de la llama de esta lámpara patrón se conservó por razones históricas; en efecto, el patrón de luz más antiguo que se utilizó fue la bujía empleada por Lambert en el siglo XVIII; más tarde se dictaron diversas prescripciones, dando lugar a las unidades denominadas bujía francesa, inglesa o alemana. Los materiales combustibles empleados en estas bujías constituían mezclas de diferentes productos, tal como se obtenían de la naturaleza; de ahí que según la procedencia del material los diferentes constituyentes variasen en su proporción. Al variar la composición química del combustible, la intensidad producida por la llama era diferente. Por esta causa, estos patrones dejaron de utilizarse.

La creación de la lámpara Hefner fue un gran avance. Su empleo perduró durante muchos años debido a su construcción sencilla y fácil manipulación, a pesar de que su potencia luminosa era baja y de que el color de la luz es algo más rojizo que el de otras unidades.

La introducción de las lámparas eléctricas permitió un nuevo avance en los patrones luminosos; pero la intensidad luminosa de una lámpara incandescente varía con la tensión de funcionamiento y la propia lámpara está sujeta a la desintegración progresiva del filamento, cuyas partículas se depositan sobre la ampolla de cristal y la ennegrecen. Desde luego, estos inconvenientes pueden evitarse en las lámparas patrón, ya que la tensión de funcionamiento puede mantenerse constante con un estabilizador de tensión y la desintegración del filamento, que se efectúa en el tiempo, se presenta raramente, ya que las lámparas patrones sólo se emplean excepcionalmente. En efecto, estos patrones sólo se emplean para calibrar otros patrones, llamados secundarios, que son los utilizados en la práctica. Estos últimos sí que se ennegrecen y su intensidad lu-



PATRON BASICO DE INTENSIDAD LUMINOSA (CUERPO NEGRO).

a = Cilindro de sílice.
b = Cierre de sílice.
c = Crisol de protección.
d = Crisol.
f = Bloque refractario.
g = Cenizas refractarias.
h = Polvo refractario.
j = Platino (180 gramos).
k = Cilindro del radiador integral.
A = Disco de abertura.
B = Lentes para concentración del haz luminoso.
C = Prisma de refracción a 90° del haz luminoso.
D = Filtros polarizadores.
R = Serpentín para refrigeracion del cuerpo externo y estabilización de la temperatura.
S = Entrada del agua de refrigeración.
T = Salida del agua de refrigeración.
U = Caja exterior.
V = Apoyos.

minosa decrece con el transcurso del tiempo.

La necesidad de disponer de un patrón básico más estable aumento a medida que la fotometría fue exigiendo más y más precision, y condujo, hará unos años, a la creación de un nuevo patrón que es totalmente autonomo y prácticamente constante: el *radiador integral* o *cuerpo negro*. Para la realización del cuerpo negro se utiliza un cilindro metálico hueco abierto por su parte superior (semejante a un tubo de ensayo), cuyo interior ha sido ennegrecido. Si se calienta este cilindro hasta una temperatura suficientemente elevada, dicho cilindro irradiará luz y calor, con lo que su interior presentará una luminancia determinada y convierte la abertura superior en un foco luminoso cuya luminancia depende exclusivamente de la temperatura del cilindro. La temperatura del radiador integral se mantiene constante gracias a estar colocado en un baño de platino en estado de fusion; durante la solidificación del platino fundido la temperatura se mantiene constante a 1.764 grados centigrados, de donde la luminancia de la abertura radiante también es perfectamente constante. La intensidad luminosa producida por este patron es constante y perfectamente *normal* (su direccion es perpendicular al plano de la abertura), por lo que puede utilizarse para calibrar por comparación otros patrones secundarios de intensidad luminosa.

La unidad de intensidad luminosa, la *candela*, corresponde a la sesentava parte de la intensidad luminosa normal por centímetro cuadrado de la abertura del radiador integral (cilindro radiante) a la temperatura de fusion del platino.

Es decir, el radiador integral patrón produce intensidad luminosa de 60 candelas en direccion perpendicular al plano de su abertura.

No obstante, aunque este patrón, llamado radiador integral o cuerpo negro, satisface en gran parte la mayoria de exigencias, presenta el inconveniente de su elevado precio De ahi que para el trabajo cotidiano de los laboratorios sigan empleándose las lámparas de incandescencia como patrones secundarios, a pesar de los defectos que hemos apuntado.

FUNDAMENTOS DE LA FOTOMETRIA

El objeto de la fotometría es la medida de las radiaciones luminosas basándose en la sensación visual que producen. Esta sensacion visual es la luminosidad o luminancia subjetiva (subjetiva porque depende de la sensibilidad de cada individuo). El ojo es también sensible al efecto que llamamos color; pero la evaluación del mismo escapa al dominio específico de la fotometría para entrar de lleno en el de la colorimetría. Cualitativamente, el ojo solo es capaz de apreciar si

una intensidad luminosa es igual o diferente a otra cuando las dos son observadas al mismo tiempo. En esta capacidad se fundan todos los aparatos destinados a medir las magnitudes luminosas, que reciben el nombre de fotómetros, en los que para la comparación de las intensidades de las fuentes luminosas recurrimos al artificio de iluminar dos superficies de comparación, modificando la iluminación de una de ellas hasta que es igual en ambas.

Como la comparacion de luminancias en la actualidad puede efectuarse por medio del ojo o por medio de un dispositivo fotosensible artificial, en correspondencia existen dos grandes familias de fotómetros. Los *fotómetros visuales* se basan en la sensibilidad de nuestra retina; los *fotómetros físicos* se basan en la acción de las radiaciones luminosas sobre ciertos elementos fotosensibles artificiales de nueva concepción, produciendo efectos físicos o químicos que se traducen en el movimiento de la aguja del cuadrante de un instrumento eléctrico.

¿Cuál de los dos tipos de fotómetros es preferible? No debe olvidarse que los elementos fotosensibles artificiales empleados en los fotómetros físicos son de muy reciente implantación. Ello hace que los fotómetros visuales sean los únicos que se han empleado hasta hará pocos años; han contribuido al gran desarrollo de la fotometría y, como todo elemento de gran escuela, su sustitución es y será relativamente lenta. El fotómetro físico presenta sobre el visual las principales ventajas siguientes:

— Al prescindir del órgano visual, no está afectado por las diferencias de sensibilidad espectral (a diferentes longitudes de onda) de un individuo a otro. Esta propiedad es de gran importancia en *fotometría heterocromática* (comparación de manantiales de luz cuya coloración no coincida exactamente).

— Las medidas pueden efectuarse con mayor sensibilidad.

— Permite efectuar medidas en cualquier lugar empleando instrumentos sencillos y portátiles, fáciles de manejar, con un mínimo gasto operacional y de mantenimiento.

FOTOMETROS VISUALES

Para todas las medidas con fotómetros visuales disponemos como elemento básico del órgano de la visión. Pero, como ya hemos indicado, este órgano falla cuando se trata de determinar el valor de las intensidades luminosas o de nivel de iluminación y no aprecia con exactitud la relación que puede haber entre dos intensidades de iluminación. En cambio, está perfectamente capacitado para distinguir si dos superficies luminosas o iluminadas poseen el mismo grado de luminancia. En particular, la aptitud del ojo en apreciar los *contrastes de luminosidad* se utiliza en los llamados *fotómetros visuales de contraste*, en los que se produce una figura oscura sobre fondo claro.

Otros fotómetros se basan en la comparación de dos superficies iluminadas, que pueden presentarse a nuestra observación simultáneamente o sustituyéndose rápidamente en el campo visual en apariciones sucesivas y repetidas. Este último sistema es el aplicado en los *fotómetros visuales de centelleo o de fluctuación.*

Como acabamos de indicar, el método general consiste en comparar dos superficies luminosas o iluminadas cuya intensidad luminosa o su luminancia, en principio, difieren poco o mucho. Asimismo, sabemos que lo único que nuestro órgano de la visión puede apreciar es que dichas superficies, en un momento dado, están igualmente iluminadas o son igualmente luminosas. Es decir, para llegar a esta condición, será preciso disponer de un dispositivo que permita reducir la intensidad de una de las fuentes luminosas. Para ello sólo serán admisibles los métodos que permitan efectuar esta reducción de acuerdo con una ley bien conocida y en los que, de un modo exacto, pueda conocerse el valor de la reducción realizada. Estas condiciones pueden conseguirse por alguno de los procedimientos siguientes:

— Aplicación de la ley de las distancias, según la cual la intensidad luminosa sobre un objeto iluminado varía con la distancia de la fuente luminosa a dicho objeto.

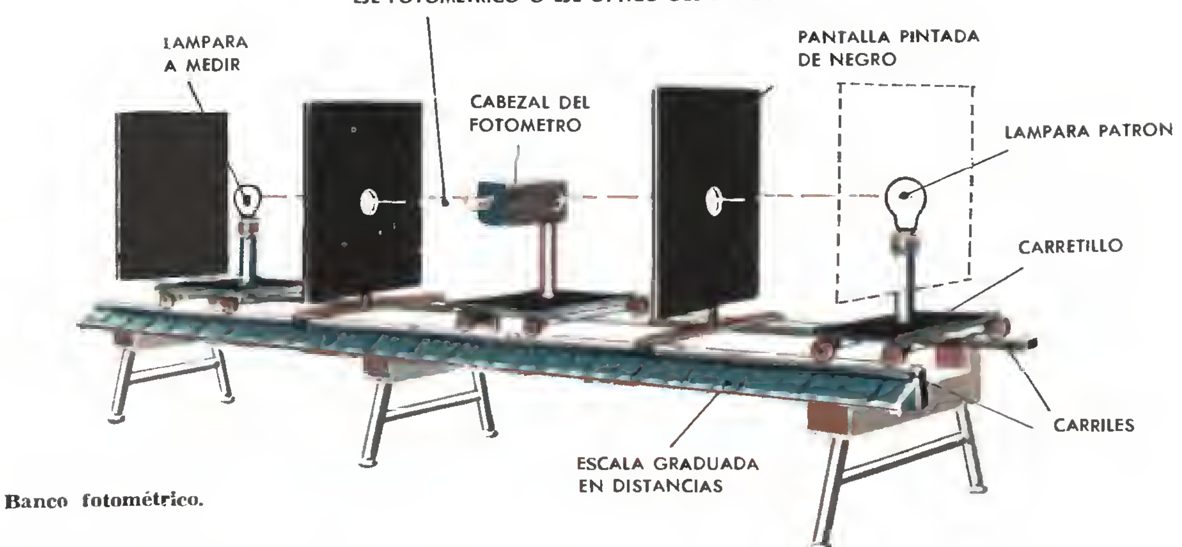
— Polarización de la luz con dispositivos apropiados.

— Empleo de diafragmas o sectores giratorios.

— Empleo de pantallas absorbentes de la luz.

— Empleo de lentes de dispersión.

El aparato de medida más antiguo utilizado en fotometría es el llamado *banco fotométrico*, basado en la ley de las distancias. Con este aparato se miden las intensidades luminosas por comparación con la de un patrón fotométrico de luz. Estos bancos constan, en esencia, de dos carriles metálicos paralelos, unidos firmemente sobre



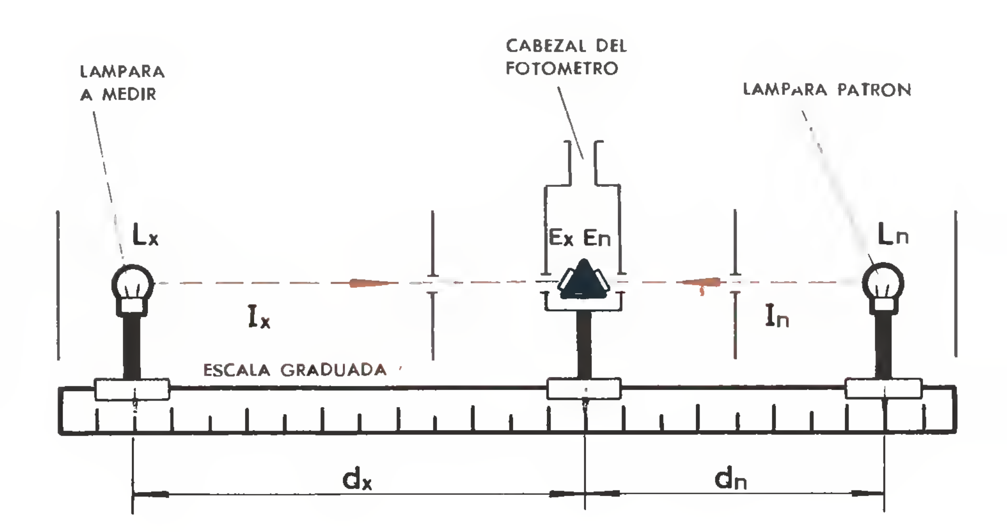
Banco fotométrico.

una bancada o soporte. Sobre los carriles se desplazan tres carretillos, que pueden quedar fijos de manera exacta y segura en la posición que convenga, los cuales soportan la cabeza del fotómetro, la lámpara cuya intensidad se trata de medir y la lámpara patrón. La separación de los carros puede apreciarse sobre una escala dividida en milímetros gracias a unos índices o nonios solidarios a los mismos.

Estos bancos tienen una longitud de 2'5 a 6 m. Con el fin de evitar la intromisión de rayos luminosos laterales se recomienda el empleo de pantallas intermedias de chapa de hierro, pintadas de negro en ambas caras, provistas de una perforación circular cuyo centro coincide con el eje fotométrico del banco, así como pantallas sin perforación alguna a cada extremo del banco.

Como la ley de las distancias dice que el nivel de iluminación de una superficie situada normalmente a la dirección de propagación de la luz es proporcional a la intensidad del foco luminoso e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia, acercando o separando ambos tenemos un medio de modificar el nivel de iluminación producido por un foco luminoso sobre una superficie.

El cabezal fotométrico contiene un prisma triangular, una de cuyas caras está iluminada por la lámpara patrón (Ln), cuya intensidad luminosa conocemos (In), y la otra por la lámpara (Lx), cuya intensidad luminosa queremos conocer (Ix). El prisma triangular está colocado de tal forma en el cabezal fotométrico que por el visor de éste pueden observarse simultáneamente las dos caras



Esquema de principio del banco fotométrico basado en la ley de las distancias. Cuando los dos niveles de iluminación Ex y En son iguales, se verifica que la intensidad de la lámpara a medir es:

$$I_x \quad I_n \times \frac{d_x}{d_n}$$

I_n = Intensidad conocida de la lámpara patrón L_n.
d_x y d_n = distancias de las lámparas L_x y L_n al cabezal.

del prisma y percibir los niveles de iluminación (E_x y E_n) producidos por las intensidades luminosas de los dos focos (L_x y L_n respectivamente).

Sabemos que el nivel de iluminación E sobre una superficie equivale a:

$$E = \frac{\text{Intensidad luminosa del foco (I)}}{\text{Distancia al foco luminoso al cuadrado } (d^2)}$$

De donde, en el banco fotométrico,

$$E_x = \frac{I_x}{d_x^2} \text{ y } E_n = \frac{I_n}{d_n^2}$$

Si desplazamos el cabezal fotométrico, llega un momento en que las distancias del mismo a los dos focos luminosos serán tales que los dos niveles de iluminación serán idénticos ($E_x = E_n$), lo cual podremos apreciar con facilidad mirando por el visor. Hacemos nuevamente hincapié en que esta igualdad de los dos niveles de iluminación es lo único que nuestros ojos son capaces de percibir con exactitud. De donde, en este momento:

$$\frac{I_x}{d_x^2} = \frac{I_n}{d_n^2}$$

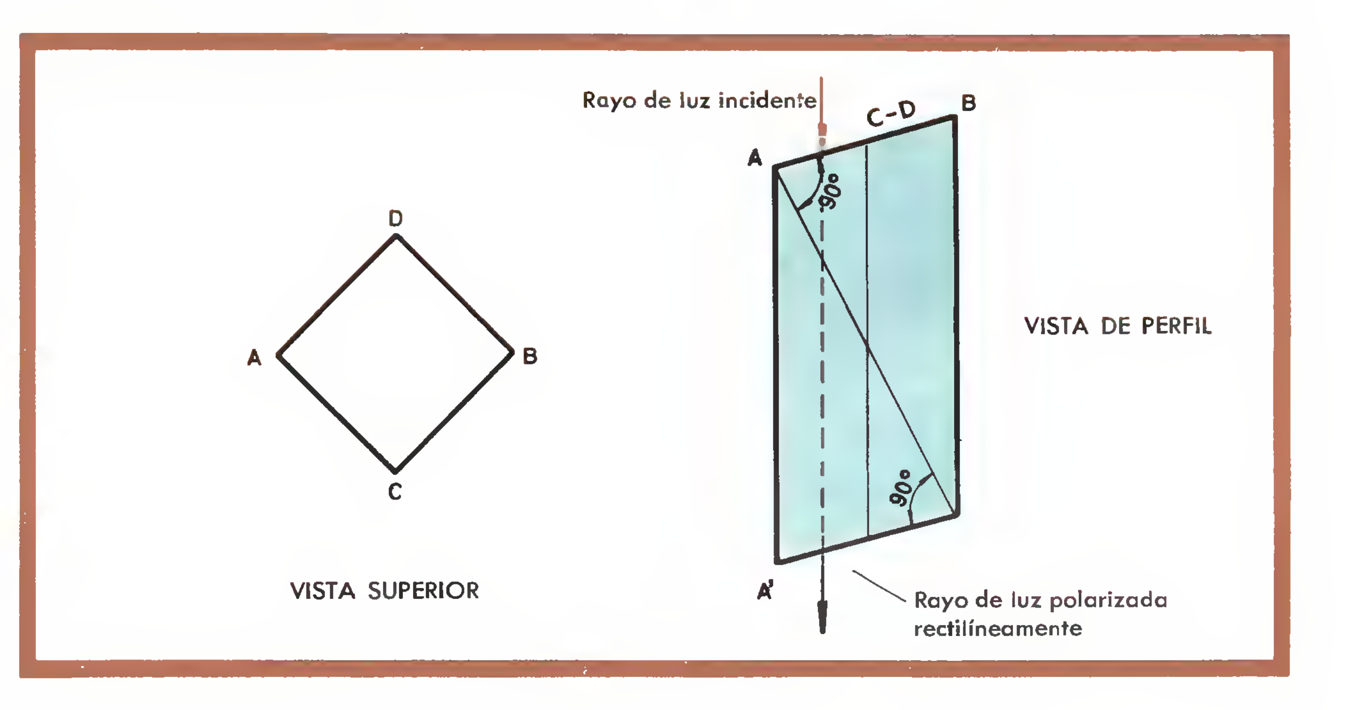
O sea, cuando se verifique que $E_x = E_n$, leemos en la escala graduada en milímetros las distancias d_x y d_n, con lo que podremos calcular la intensidad luminosa I_x que queríamos conocer:

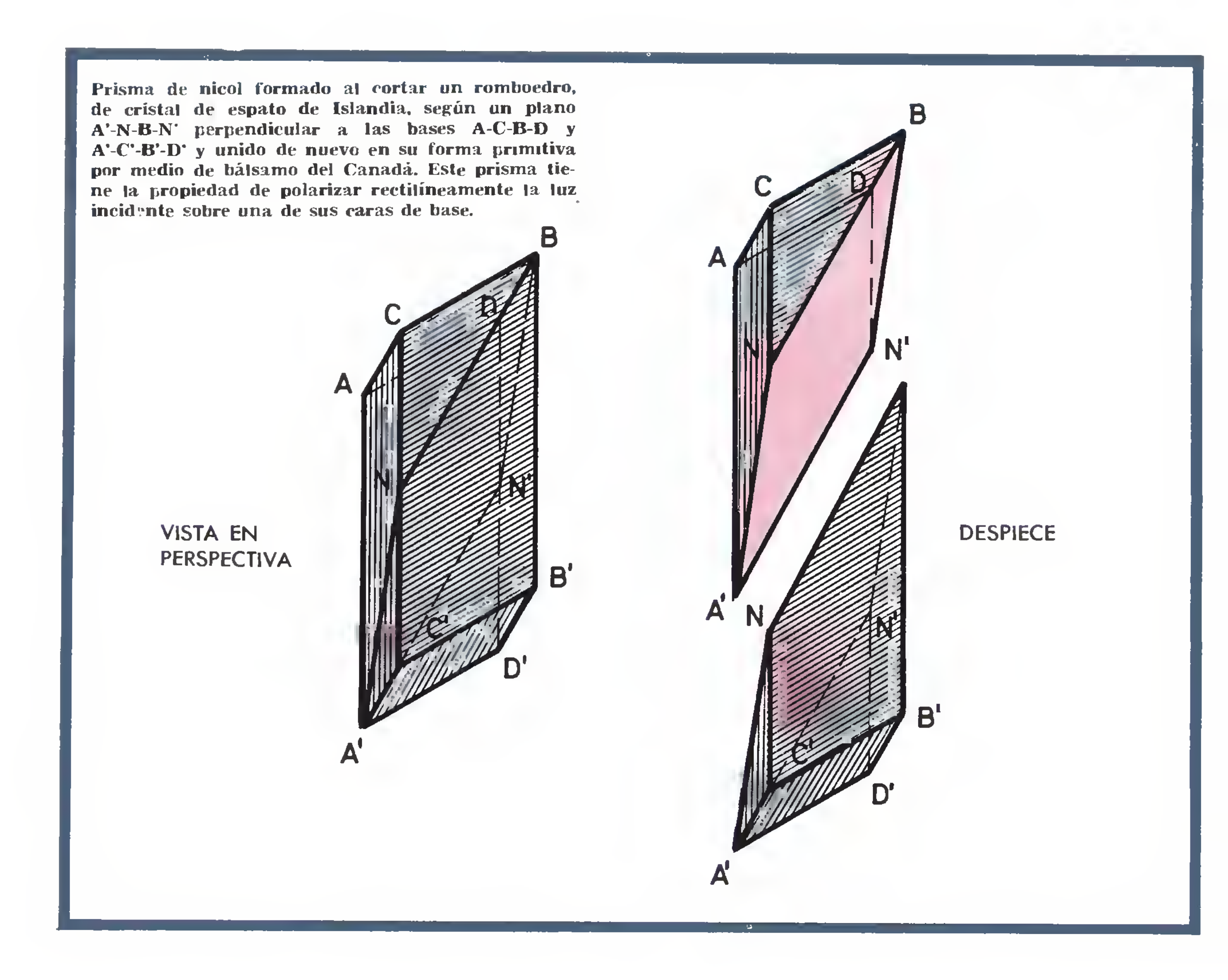
$$I_x = I_n \left(\frac{d_x}{d_n}\right)^2$$

La apreciación de los dos niveles de iluminación, dentro del cabezal fotométrico, ha ido perfeccionándose, dando origen a diferentes fotómetros llamados de Lummer-Brodhun, Bouguer, Lambert, Rumford, Richtie, Weber, Bunsen, Fresnel, Bechstein, etc. La mayoría de ellos utilizan la propiedad del contraste luminoso producido según diferentes artificios; pero, en esencia, todos están basados en el mismo principio que el del banco fotométrico.

En otros fotómetros, la reducción de la intensidad luminosa se efectúa por medio de la *polarización* de la luz, propiedad típica de los cuerpos anisótropos transparentes como el carbonato de calcio cristalizado, llamado espato de Islandia. Cuando un rayo luminoso atraviesa un cristal de espato de Islandia se obtiene un haz rectilíneo polarizado. Ello se consigue con un romboedro de dicho material que se corta en dos, según un plano perpendicular a una de las caras de la base; se pulen las dos superficies y se pegan en su posición primitiva con una delgada capa de bálsamo del Canadá. Un tal cristal, así dispuesto, se denomina *prisma de Nicol*. El prisma de Nicol no sólo sirve para producir luz polarizada rectilíneamente, llamándose entonces *polarizador*, sino también para averiguar si la luz está polarizada rectilíneamente y saber la posición del plano de polarización; entonces se dice que se emplea como *analizador*.

Cuando la luz que incide sobre el nicol no está polarizada por otro, la intensidad de la luz transmitida es aproximadamente la mitad de la





Prisma de nicol formado al cortar un romboedro, de cristal de espato de Islandia, según un plano A'-N-B-N' perpendicular a las bases A-C-B-D y A'-C'-B'-D' y unido de nuevo en su forma primitiva por medio de bálsamo del Canadá. Este prisma tiene la propiedad de polarizar rectilíneamente la luz incidente sobre una de sus caras de base.

luz incidente (existe una ligera pérdida por reflexión). Si la luz incidente ya está polarizada rectilíneamente con un nicol, la intensidad de la luz transmitida a través de un segundo nicol varia cuando este último gira sobre su eje. Cuando el plano de polarización del nicol analizador coincide con el del nicol polarizador, el rayo luminoso procedente de este último pasa íntegramente a través del primero; es decir, la luz que incide sobre una cara del primer nicol sale polarizada y la intensidad luminosa a la salida del conjunto de los dos nicoles es la mitad de la luz incidente. Cuando el plano de polarización del segundo nicol sea perpendicular (forme un ángulo de 90°) al del primer nicol, el rayo luminoso se refleja totalmente sin que haya ninguna luz a la salida del conjunto de los dos nicoles. Si el plano de polarización del segundo nicol (analizador) forma un cierto ángulo con el del primero (polarizador), la intensidad de la luz transmitida por ellos equivale al producto de la de la luz incidente por el cuadrado del coseno del ángulo formado. I' =

$$I' = I \times \cos \alpha^2$$

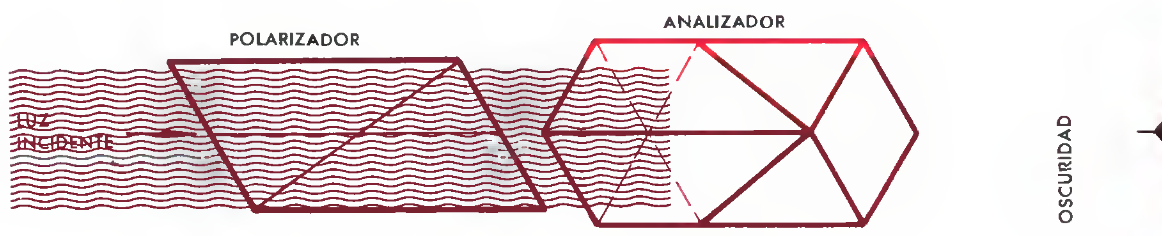
Este tipo de fotómetro sólo es apropiado para grandes intensidades luminosas, debido a las grandes pérdidas por absorción que se producen cuando el plano del nicol forma cierto ángulo con la luz incidente.

Otro método empleado en la concepción de un fotómetro consiste en la sustitución periódica de una imagen por otra. Si se interrumpe el flujo luminoso que incide sobre una superficie mediante una sucesión rápida de interrupciones, producida por un disco segmentado giratorio, la superficie aparece iluminada de forma regular. Si un punto de la retina es alcanzado por un rayo luminoso intermitente y periodico se produce una impresión permanente, cuya intensidad es la misma que la que produciría la cantidad de luz recibida distribuida de manera uniforme duran-

CONJUNTO POLARIZADOR-ANALIZADOR NICOL

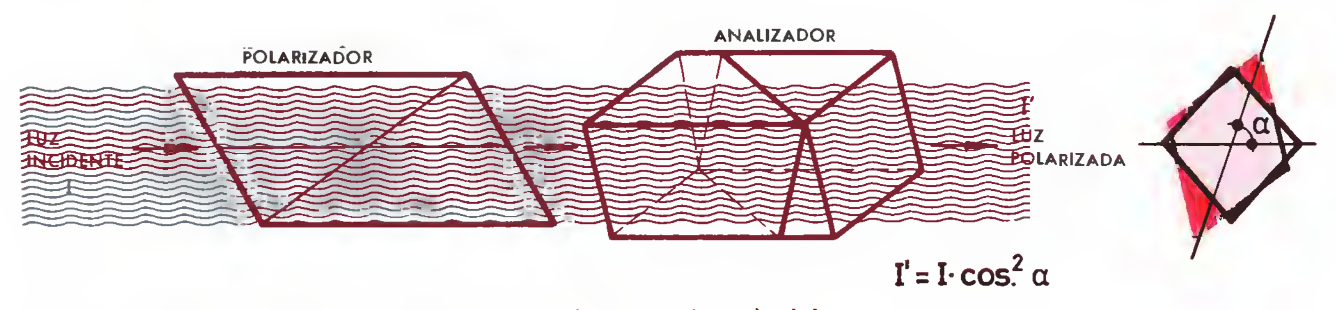


Cuando los planos de polarización coinciden, el conjunto de los dos nicoles transmite luz polarizada, cuya intensidad es la mitad de la incidente.





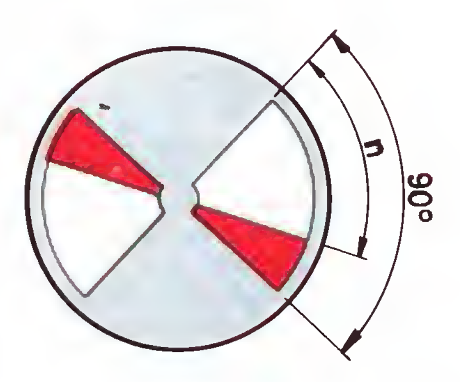
Cuando los planos de polarización forman un ángulo de 90 (perpendiculares) no se transmite luz alguna a través del conjunto de los dos nicoles.



Cuando los planos de polarización forman cierto ángulo, la intensidad luminosa de la luz polarizada transmitida equivale a la incidente multiplicada por el cuadrado del coseno del ángulo formado.

te todo un ciclo (*Ley de Talbot*). Es decir, cuando un haz de rayos luminosos es interceptado por un disco que gira a gran velocidad y en el cual se han practicado unas aberturas en forma de sectores, el efecto sobre una superficie iluminada por aquellos rayos es el mismo que el que se consigue empleando una intensidad menor con un ángulo de abertura del disco de 360°. De manera que si los sectores totalmente abiertos suman 180°, la intensidad puede ser disminuida desde la mitad de su valor hasta cero.

Es decir, si en el banco fotométrico la intensidad a medir está en proporción a la conocida como sus distancias respectivas a la superficie de comparación, y si en el método de polarización dicha proporción corresponde con la de los cua-



Disco con sectores abiertos regulables desde $\frac{180}{360}$ = 0'5 hasta $\frac{2\ n}{360}$ del valor de la intensidad o del flujo luminoso.

drados de los cosenos, en el método del disco giratorio la intensidad a medir está en proporción a la conocida como la proporción de los ángulos de abertura.

Finalmente, la reducción de la intensidad luminosa también puede obtenerse mediante elementos absorbentes tales como placas de cristal mateado, gris o ahumado, cuyo espesor puede variarse a voluntad por medio de diferentes artificios. Los fotómetros que emplean este sistema deben calibrarse previamente, ya que la absorción no sigue una ley bien definida.

FOTOMETROS FISICOS

En los fotómetros físicos la energía de los rayos luminosos que inciden en la superficie de un receptor de luz se transforma en otra forma de energía. Esta energía —o mejor aún energía por segundo, es decir potencia—, que en términos luminotécnicos se llama flujo luminoso, incide en el receptor de luz dando lugar a un nivel de iluminación que se trata de medir.

Teniendo en cuenta que los fotómetros físicos miden directamente un nivel de iluminación, en propiedad debieran llamarse *iluminamómetros* y no luxímetros, como se les llama en la práctica, ya que la magnitud a medir es la iluminación expresada en lux, o sea que el lux sólo es la unidad (no se miden centímetros, sino que se mide una longitud expresada en dichas unidades). En el *Vocabulario Electrotécnico Internacional* de la Comisión Electrotécnica Internacional, en su versión española, patrocinada por la Comisión Permanente Española de Electricidad, se denomina este aparato como LUXÍMETRO y se le define como aparato utilizado para la medida de las iluminaciones.

Recordemos que en los fotómetros visuales las magnitudes fotométricas se convierten en luminancias. En cambio, en los fotómetros físicos dichas magnitudes son convertidas en niveles de iluminación.

Los fotómetros físicos se construyen en base a seis tipos de elementos fotosensibles:

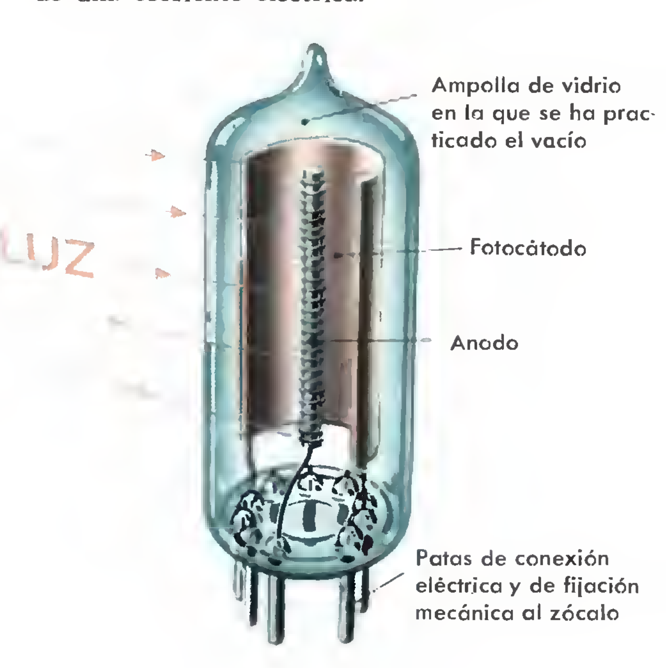
— Células fotoemisivas.
— Células fotoeléctricas.
— Fotorresistencias.
— Termopares.
— Fotodiodos y fototransistores.
— Placas fotográficas.

De estos seis elementos, los más empleados en fotometría hasta el presente son las células fotoemisivas y las fotoeléctricas; aunque en la actualidad las fotorresistencias y los fotodiodos o fototransistores, muy empleados en la industria, van siendo cada vez más empleados en fotometría. No obstante, los cuatro últimos grupos se emplean principalmente en aplicaciones que no son las fotométricas, o bien para fotometría destinada a fines especiales.

Todos los fotómetros físicos basados en estos elementos deben ser previamente calibrados con un manantial luminoso patrón, de forma que las lecturas que se efectúen directamente en el instrumento correspondan con la iluminación real.

Las *células fotoemisivas* son válvulas electrónicas provistas de un fotocátodo que emite electrones bajo el efecto de un rayo luminoso. El cátodo está por lo general constituido por una plaquita metálica semicilíndrica, mientras el ánodo está formado simplemente por un hilo colocado aproximadamente en el eje del cátodo. Éste acostumbra consistir en una delgada capa de plata depositada sobre la superficie semicilíndrica interior, sobre la cual se ha precipitado una fina película de óxido de metal alcalino-térreo.

El material de que está compuesta la fina película fotosensible que recubre el cátodo contiene un cierto número de átomos libres. La luz que incide sobre ella provoca la ionización de los mismos, y por ende una liberación de electrones que son atraídos por el ánodo (conectado a un potencial eléctrico positivo), dando lugar al paso de una corriente eléctrica.



Célula fotoemisiva.

Es decir, la radiación luminosa provoca una emisión de electrones del cátodo, que una vez captados por el ánodo constituye una corriente eléctrica cuya intensidad está en proporción con la intensidad luminosa de la luz incidente. La sensibilidad de una célula fotoemisiva (la corriente eléctrica producida por unidad de flujo luminoso) es de 40 μA por lumen.

1 microamperio, 1 μA = 0'000001 A

En aplicaciones industriales también se utilizan células fotoemisivas de sensibilidad mucho más elevada (150 μA).

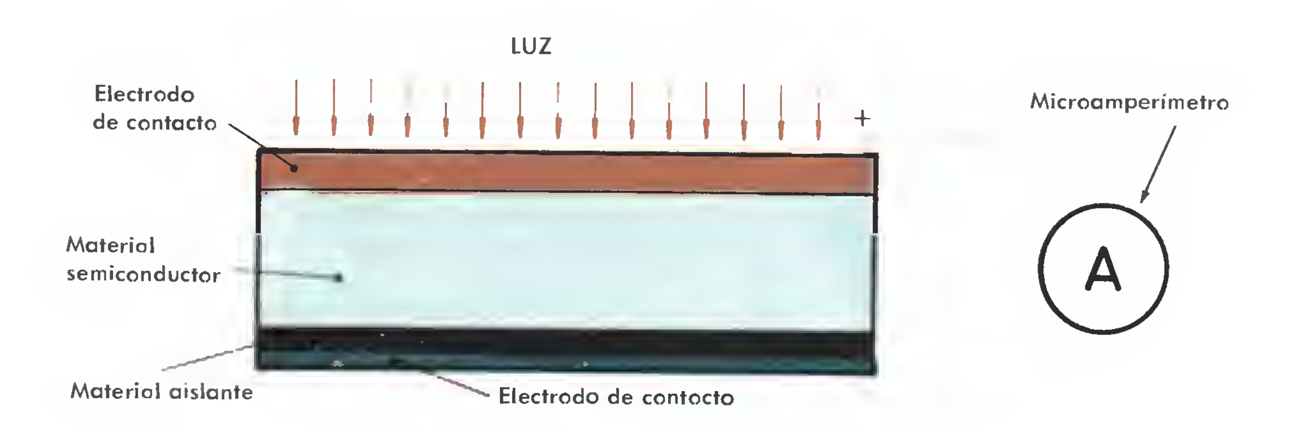
A las células fotoemisivas se les denomina también, en el lenguaje corriente, células fotoeléctricas. Ello induce a error y puede confundirlas con las células fotovoltaicas (más propiamente llamadas células fotoeléctricas), ya que en las fotoemisivas el flujo luminoso da lugar a una *emisión de electrones* y en las *células fotoeléctricas* la luz se transforma directamente en energía eléctrica. (Una célula fotoeléctrica es una verdadera pila eléctrica.)

El funcionamiento de estas células se basa en el principio de que cierto grupo de sustancias se comporta como pilas eléctricas cuando se les pone en contacto y se les irradia. Estas pilas están formadas por capas separadas de dichos materiales; siempre, la capa central está constituida por un *semiconductor* (generalmente, óxido de cobre o de selenio). Cuando la capa semiconductora es excitada por la luz, se hace eléctricamente positiva, y la capa posterior negativa. La fuerza electromotriz producida por esta pila es aproximadamente proporcional a la iluminación recibida y suministra una corriente de débil intensidad, suficiente para accionar un microamperímetro o un galvanómetro sensible. La escala del galvanómetro se gradúa en unidades de nivel de iluminación (lux), por lo que la medida puede efectuarse directamente.

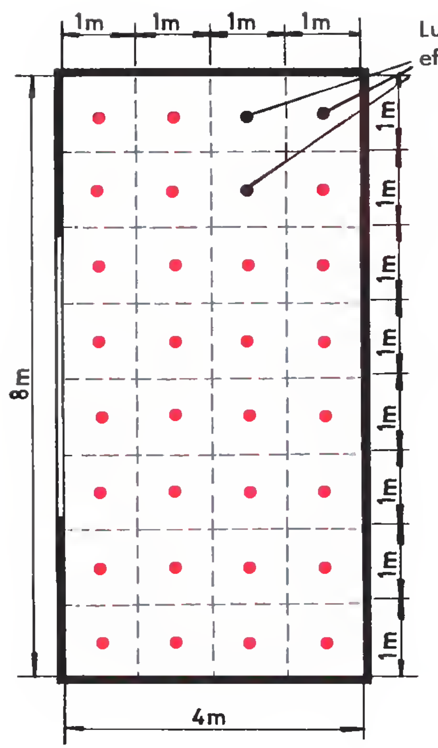
Los modernos luxímetros están constituidos casi siempre por estas células fotoeléctricas. Existe una gran variedad de tipos que van desde el gran aparato de laboratorio hasta el instrumento de bolsillo.

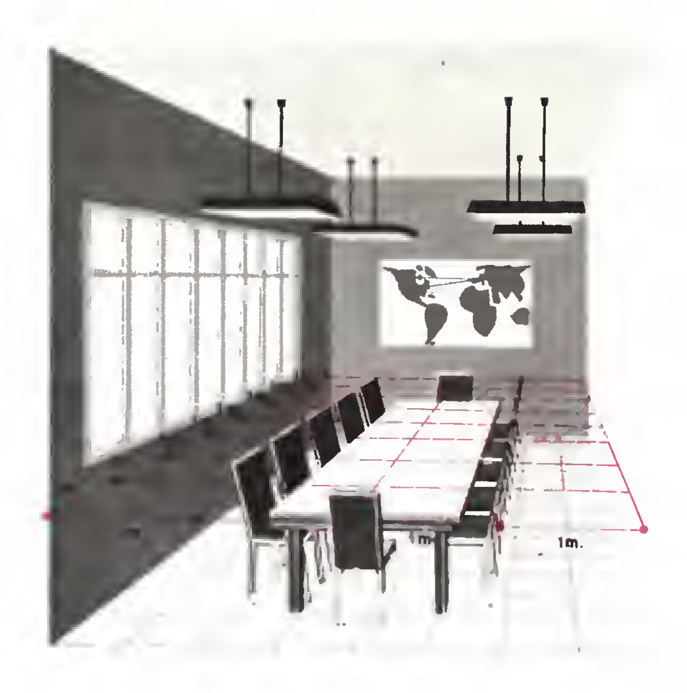
Para medir el nivel de iluminación en un punto determinado de una superficie, se coloca en él la célula, paralela a la superficie, de modo que el valor de la iluminación sobre dicho punto y la célula sea el indicado por el instrumento. Los instrumentos más sencillos, como es lógico, son los que tienen menos precisión. Con el tiempo la célula pierde sensibilidad, de donde sus lecturas pecan cada vez más por defecto. El instrumento es sensible a la temperatura e incluso una pequeña cantidad de humedad puede deteriorar irremediablemente la célula.

El luxímetro es una valiosa ayuda en luminotecnia, si se le utiliza adecuadamente; pero no debe concederse un valor exagerado a los resultados de las mediciones. Para las aplicaciones corrientes de la luminotecnia, hoy en día, se emplea prácticamente sólo el luxímetro físico, con el cual se mide el nivel de iluminación en un punto dado; las restantes magnitudes fotométricas se obtienen por simples cálculos partiendo del diagrama de distribución luminosa de la lámpara o de su armadura, dado por el fabricante de los mismos, de cuya naturaleza e importancia nos ocuparemos.



Célula fotoeléctrica. Se comporta como una pila eléctrica.





Para medir el nivel de iluminación medio de un local, se le divide en superficies de 1 m², en el centro de las cuales se efectúa cada medida. La suma de todas las lecturas en el luxímetro, dividida por el número de lecturas, da el valor medio buscado.

Generalmente se mide el nivel de iluminación sobre una superficie horizontal en un punto determinado, sobre una máquina, sobre una mesa o en determinados lugares de una calle, plaza o carretera. Para determinar el valor medio de la misma en un local, a la altura en que se efectúa un trabajo o labor (plano de trabajo), deben efectuarse muchas medidas en diferentes lugares; para ello se divide el local en cuadros de un metro de lado, por ejemplo, y se efectúa una medida en el centro de cada cuadrado colocando el luxímetro a una altura de 85 cm sobre el suelo si se trata de interiores y de un metro si se trata de exteriores. Se anotan las diferentes lecturas efectuadas; la suma total en lux dividida por el número de lecturas da el nivel de iluminación medio del local expresado en lux.

Al mismo tiempo, las mediciones efectuadas en la forma descrita nos permiten darnos cuenta del grado de uniformidad del nivel de iluminación en el local y apreciar la importancia de las sombras.

* * * * *

DISTRIBUCION ESPACIAL DE LA LUZ

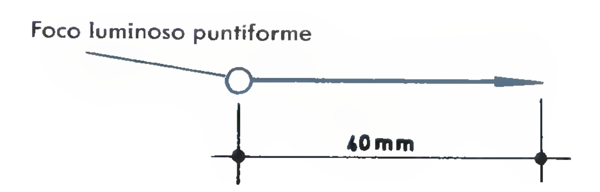
Hemos indicado antes que la determinacion de las intensidades luminosas en cada direccion nos da idea de cuál es la distribucion espacial del flujo luminoso. Esta distribucion toma cuerpo en el llamado *diagrama polar de intensidad luminosa*, que indica, para cada fuente de luz, la intensidad que corresponde a cada direccion del espacio.

Una intensidad luminosa se representa siempre por una flecha. El punto de origen de donde parte la flecha corresponde al centro del manantial luminoso (o bien, el manantial mismo si lo consideramos puntiforme); la longitud de la flecha da idea del valor de la intensidad luminosa (por ejemplo, si hacemos que 1 milímetro represente 10 candelas, una flecha cuya longitud sea de 20 milímetros indicará que la intensidad luminosa del foco es de 200 candelas); y, finalmente, la punta de la flecha indica el sentido o la dirección del flujo luminoso.

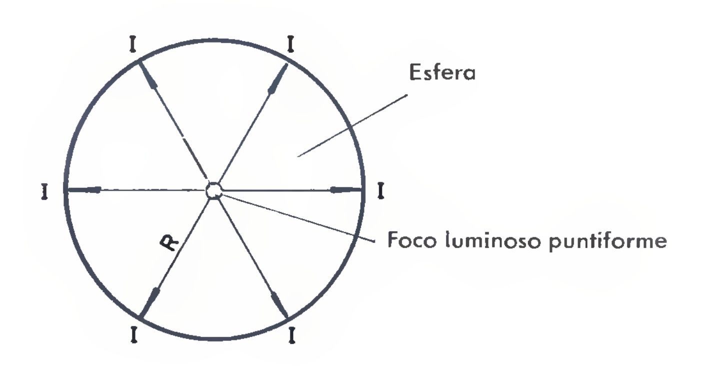
Como sabemos, un foco luminoso radia al espacio en todas direcciones. En el caso ideal de un manantial puntiforme, la intensidad luminosa en todas las direcciones es siempre la misma, por lo que todas las flechas parten de un mismo origen y tienen la misma longitud, de donde su conjunto forma una esfera cuyo centro es el manantial luminoso y cuyo radio representa la intensidad luminosa.

En la práctica no existen manantiales luminosos puntiformes y la luz no se distribuye uniformemente en todas las direcciones. Es decir, que el flujo luminoso se reparte en un gran numero de formas, pero no es la esférica. No obstante, si bien la distribución espacial de la luz no adopta una forma bien determinada en cada caso, lo que sí se verifica en la mayoría de los casos es que el *sólido fotométrico* (o sólido formado por la distribución espacial del flujo luminoso de un foco) constituye un cuerpo simétrico con respecto a un eje vertical. Además, como un cuerpo de tres dimensiones no puede representarse fácilmente sobre el plano del papel, se aprovecha esta propiedad de simetría para representar dicho sólido fotométrico en un plano.

Para ello, hagamos pasar el plano del papel por el eje vertical del foco luminoso y obtendremos una imagen representando en corte la distribución espacial del flujo luminoso. (Esta imagen es semejante a la que se obtiene al cortar una pera o una manzana por su mitad.) Sabemos que en cada direccion el flujo luminoso da lugar a una intensidad luminosa dada; ahora bien, si



La intensidad luminosa se representa con una flecha.



La distribución espacial de la luz de un foco puntiforme ideal es una esfera.



Cuerpo solido formado por la distribucion espacial del flujo luminoso de una lámpara de incandescencia. En dicha forma se ha practicado un corte para mostrar las diferentes longitudes de las flechas, o sea, los diferentes valores de la intensidad luminosa en cada dirección.



Al cortar una pera por su mitad queda algo parecido a lo representado en el dibujo.



Al cortar con un plano, pasando por el eje vertical de simetría del foco, un sólido fotométrico, obtenemos un diagrama de la distribución espacial de la luz emitida por el foco.

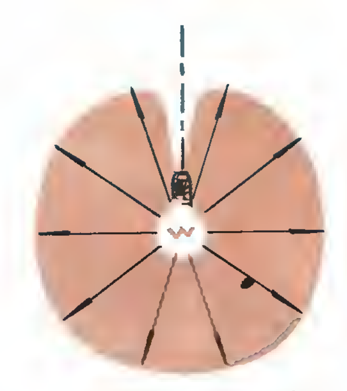
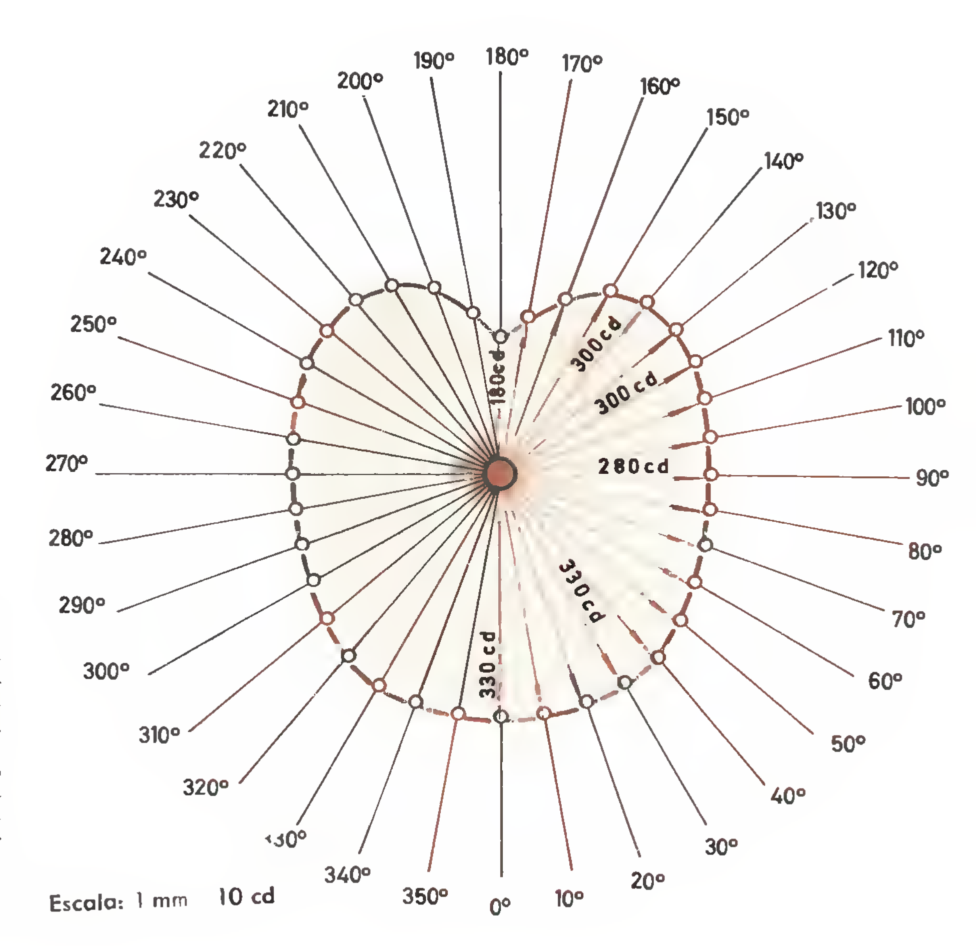


Diagrama de la distribución espacial de la luz emitida por un foco. El contorno corresponde con las puntas de las flechas que señalan las intensidades luminosas en todas las direcciones en el plano de corte del sólido fotométrico.

no precisamos de qué dirección se trata no podremos situar en el plano la intensidad luminosa correspondiente. Para conseguirlo, se hace partir del foco luminoso considerado puntiforme una serie de líneas que forman entre sí siempre un mismo ángulo (10 grados por ejemplo), sobre cada una de las cuales se marca la longitud que corresponde a la intensidad luminosa teniendo en cuenta la escala aplicada; uniendo los puntos así obtenidos queda formada alrededor del centro (foco luminoso) la *curva fotométrica* o diagrama polar de intensidad luminosa.

Además, como el sólido geométrico por lo general es un cuerpo de revolución formado alrededor del eje de simetría —que es el eje vertical que pasa por el foco—, en la mayoría de los casos es suficiente con disponer de la mitad de la curva. Con el fin de evitar el medir cada vez el



Distribución espacial de las intensidades luminosas con que emite una lámpara incandescente de 200 W con flujo luminoso de 3700 lúmens. Para conocer la intensidad luminosa correspondiente a la dirección de un ángulo dado, es necesario medir sobre el diagrama la longitud del vector, que multiplicada por la escala da el valor de la intensidad en candelas.
28 mm × escala = 28 × 10 = 280 cd

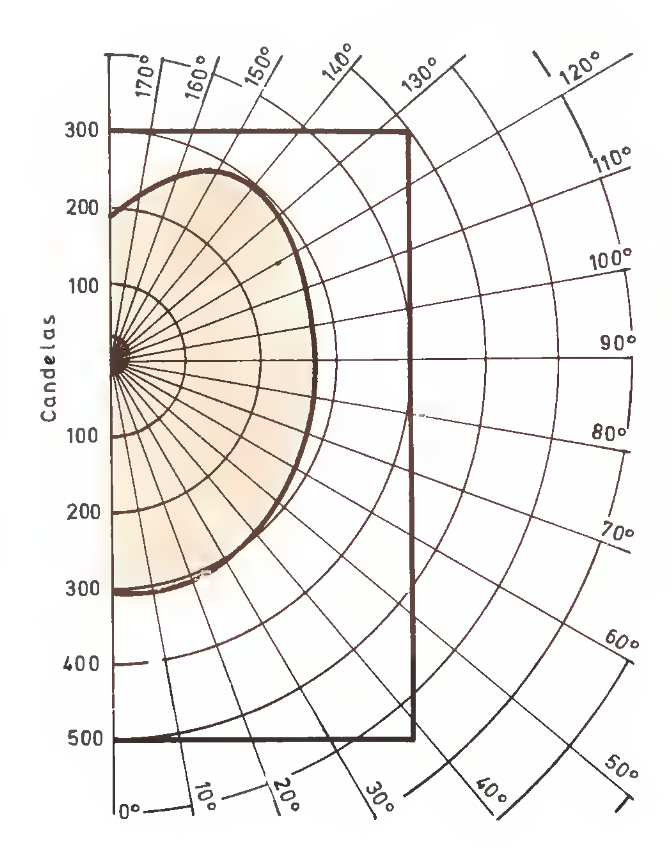
vector intensidad para conocer ésta (multiplicando la longitud por la escala obtendremos el valor de la intensidad), pueden trazarse círculos concéntricos con centro en el foco, cuyo radio represente directamente un valor dado de la intensidad luminosa. Con ello no debemos medir con la regla ninguna longitud ni deberemos multiplicarla por la escala; todos los puntos de la curva fométrica que se encuentren en un círculo tendrán una misma intensidad luminosa, y todos aquellos que se encuentren entre dos círculos tendrán una intensidad que será intermedia a las correspondientes a los dos círculos.

Para el trazado de la curva fotométrica se mide la intensidad luminosa en cada dirección, por medio de los fotómetros, y los valores obtenidos se sitúan en cada radio de 10° con una longitud correspondiente a la escala adoptada.

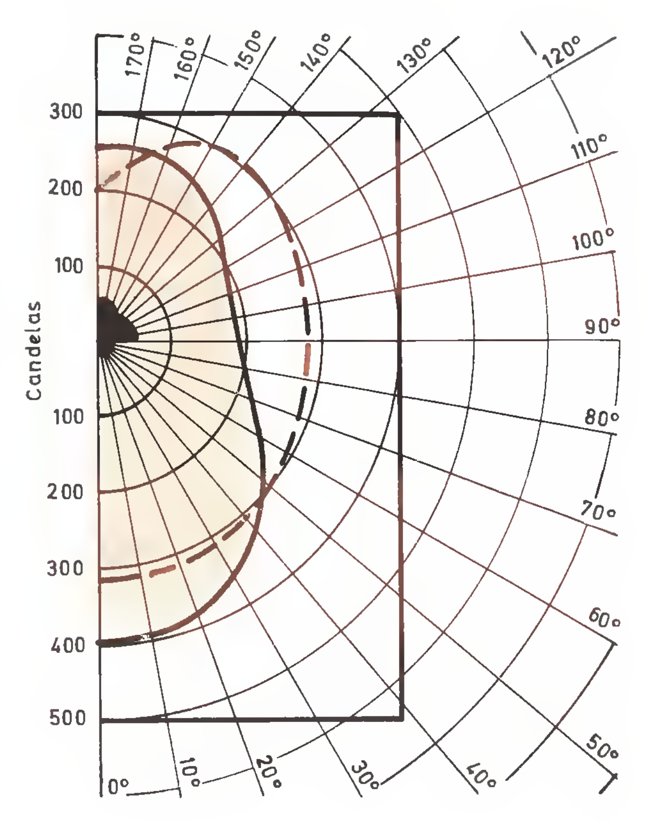
El trazado de la curva está efectuado por el fabricante de las lámparas o de los aparatos de iluminación, quien por lo general la refiere a 1.000 lúmens.

Decimos «de las lámparas y aparatos» porque, si bien cada lámpara tiene una curva fotométrica que le es propia, el aparato de iluminación que la guarnezca modificará dicha curva de una forma característica que es propia, a su vez, del aparato.

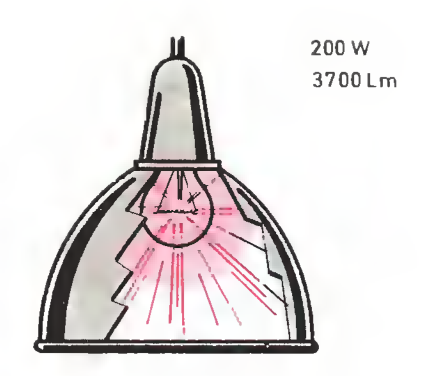
Acabamos de decir, también, que el fabricante proporciona el diagrama polar refiriéndolo a 1.000 lúmens; es decir, considera que la fuente de luz emite un flujo de 1.000 lúmens, por lo que en el caso normal de que la lámpara emita un flujo mayor o menor sus intensidades serán proporcionales a las deducidas del diagrama. Como todas las lámparas de un mismo tipo tendrán la misma distribución luminosa en el espacio y si su potencia es diferente sólo diferirán (proporcionalmen-



Esta curva fotométrica es la misma que la anterior y para la misma lámpara. Sólo se diferencia en que se ha reproducido media curva y en que se han trazado los círculos concéntricos de la misma intensidad. (Además el conjunto se ha encuadrado en un rectángulo para mayor claridad en las anotaciones.) Este sistema de representación permite deducir con una simple mirada la intensidad luminosa aproximada correspondiente a un punto dado de la curva.

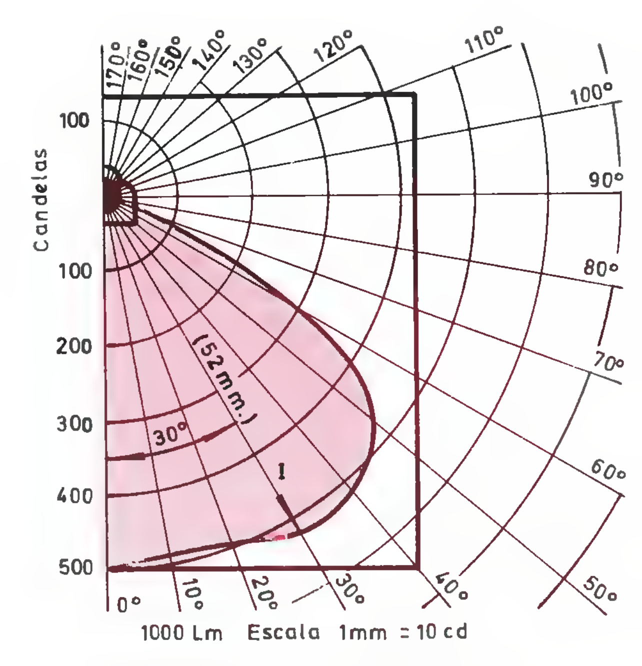


La curva fotométrica en línea continua, qoe limita la superficie coloreada en rojo, corresponde a la distribución espacial de la luz del aparato reflector equipado con la misma lámpara de 3700 lúmens. Podemos observar que el reflector ha modificado sensiblemente la distribución espacial de la luz emitida por la lámpara.
La curva fotométrica en línea de puntos es la misma que las dos anteriores y corresponde a la misma lámpara de 3700 lúmens.



Curva fotométrica para 1000 Lm de un reflector industrial. Teniendo en cuenta que el flujo emitido por la lámpara es de 3700 Lm y que la escala es de 1 mm para 10 candelas, la intensidad luminosa producida por el foco, compuesto por el reflector y la lámpara, en la dirección de 30° es de:

$$I = 52 \times 10 \times \frac{3700}{1000} = 1924 \text{ Cd}$$



te) entre ellas en cuanto a la intensidad luminosa en cada dirección, ello permite que un solo diagrama referido a un determinado flujo luminoso (1.000 lúmenes) sirva para todas ellas.

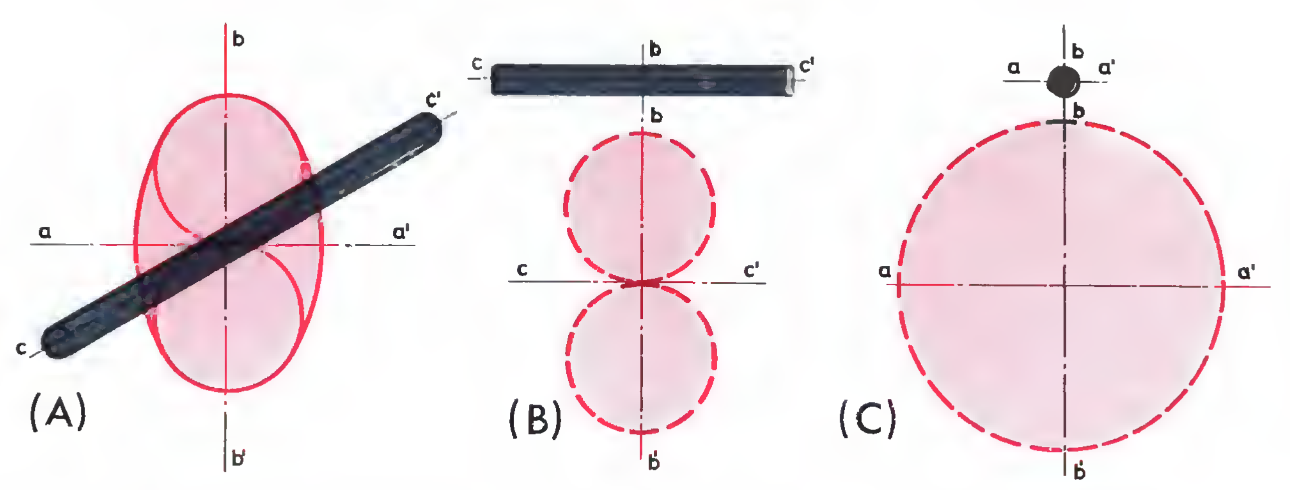
Así, por ejemplo, una lámpara incandescente de 200 vatios eléctricos de consumo y 3.700 lúmens de flujo luminoso, equipada con un reflector muy eficaz de tipo industrial que dirige toda la radiación luminosa hacia el suelo, produce una intensidad luminosa bajo un ángulo de 30° que en el diagrama dado por el fabricante es representado por 52 milímetros a una escala de 1 mm cada 10 candelas, para un flujo luminoso de 1.000 lúmens. Es decir:

52 mm × 10 cd por mm = 520 candelas

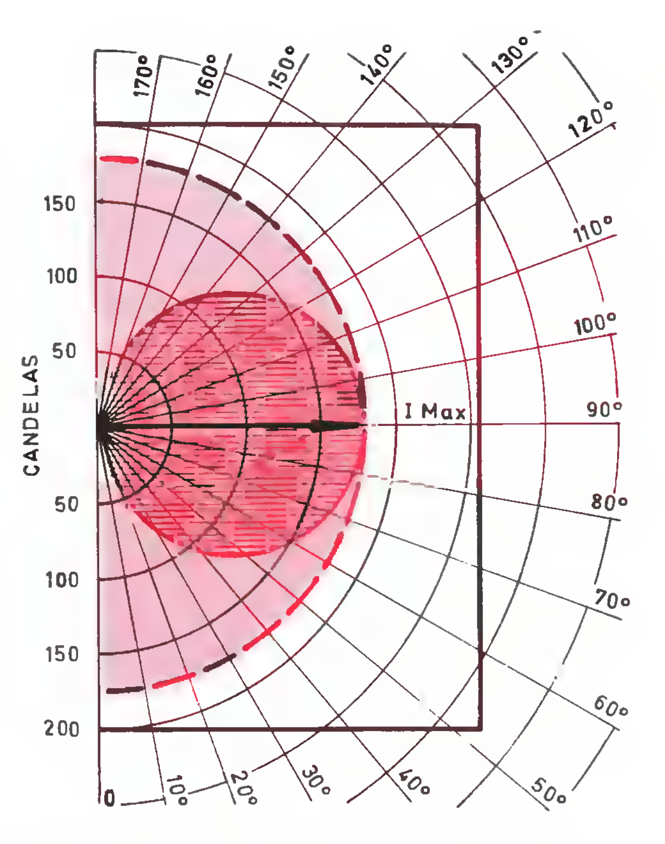
1000 lúmens ... ... 520 candelas
3700 lúmens x

$$x = \frac{520 \times 3700}{1000} \; 1924 \text{ cd}$$

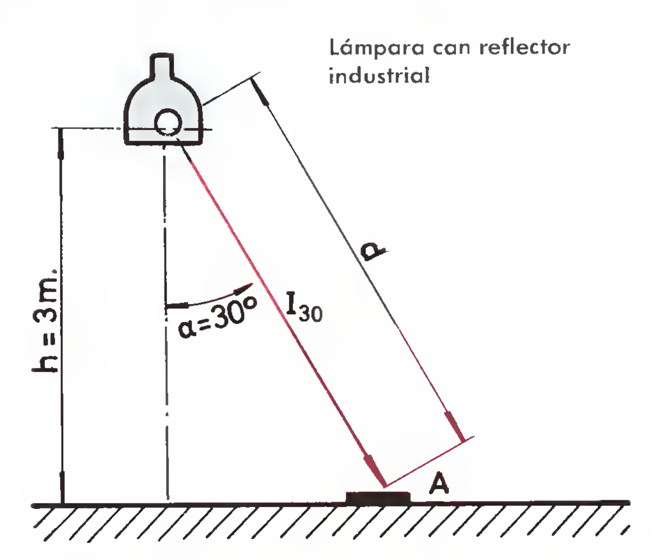
Las curvas fotométricas que hemos estudiado hasta ahora corresponden a fuentes luminosas, lámpara y armadura, cuya distribución espacial es simétrica respecto al eje vertical. Pero hay manantiales luminosos cuya distribución de luz no es simétrica: por ejemplo, las lámparas fluorescentes o las lámparas de vapor de sodio. En estos casos, el diagrama suele representarse en dos planos ortogonales conteniendo el eje de la lámpara.



(A) Imagen tridimensional de la distribución espacial de la luz emitida por el tubo.
(B) Distribucion espacial de la luz según el plano vertical que pasa por c-c' (a lo largo del tubo).
(C) Distribución espacial de la luz según el plano vertical que pasa por a-a (normal al tubo).



Las dos curvas fotométricas, según planos horizontal y vertical, pueden incluirse en un mismo diagrama.
En el caso del tubo fluorescente los dos pueden incluirse en una mitad del diagrama, ya que si bien la distribución no es simétrica para todas las direcciones del espacio, en cambio es simétrica con referencia a dos planos perpendiculares entre sí que pasan por la misma vertical b-b'.



La lámpara de 3.700 Lm equipada con el reflector industrial produce una iluminación de 139 lux en el punto A cuando aquella está situada a una altura de 3 metros.

CURVAS ISOLUX

Conocida la intensidad luminosa emitida por el foco en cada dirección, es fácil determinar el nivel de iluminación de cualquier punto de un plano horizontal situado bajo dicha fuente de luz, ya que, de acuerdo con las fórmulas anteriormente deducidas, tenemos:

$$E_{(A)} = \frac{I\alpha}{d^2} \cos\alpha = \frac{I\alpha}{h^2} \cos\alpha^3$$

Considerando la anterior lámpara de 3.700 lúmenes, cuya intensidad luminosa bajo un ángulo de 30° era de 1.924 candelas, colocada a una altura de 3 metros sobre el suelo:

$$E_{(A)} = \frac{1924}{3 \times 3} \cos\alpha^3 =$$

$$= \frac{1924}{9} \times 0'649 = 138'7 \text{ lux}$$

(El valor de cos α^3 se obtiene en la tabla dada en anteriores páginas.)

Cuando un foco luminoso, o un grupo de focos, ilumina toda una zona, si trasladamos al plano la zona iluminada y unimos todos aquellos puntos que presentan el mismo nivel de iluminación tendremos dibujada la familia de *curvas isolux*, o curvas del plano que contienen puntos que reciben la misma iluminación. Estas curvas presentan un aspecto semejante a las curvas de nivel de un plano topográfico.

NOTA FINAL

Hasta aquí sólo se han considerado las pérdidas de energía, o el rendimiento luminoso, de un foco desde el momento en que consume cada vatio en el contador hasta el que produce *sensación de luz* en nuestro cerebro.

Al mismo tiempo han sido dados los principios fundamentalmente básicos de la luminotecnia, con lo cual podremos considerar técnicamente una instalación de alumbrado, una vez conocidos los medios (lámparas y armaduras o aparatos) de que se dispone hoy en día.

Ahora bien, como veremos más adelante, el flujo luminoso emitido por una fuente primaria no suele llegar de modo directo a nuestros ojos. La mayor parte del mismo es absorbido, transmitido o reflejado por el espacio circundante y superficies sobre las que incide, que se convierten así en fuentes de luz secundarias.

ELECTRICIDAD

Las lámparas incandescentes

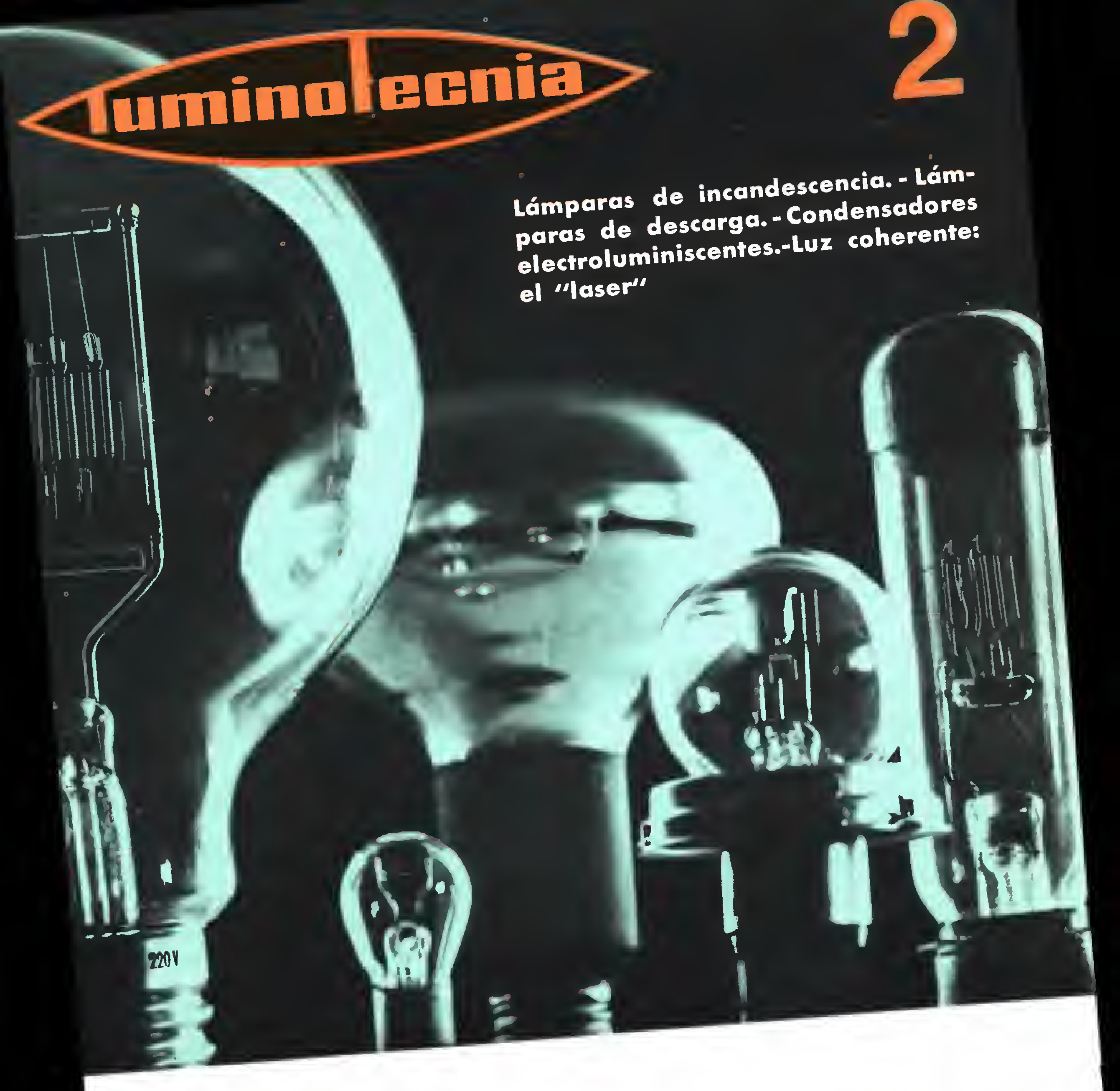
Lámparas de descarga

Alumbrado fluorescente

Ultimos adelantos en fluorescencia



LECCION Nº 27



INTRODUCCION

Consideramos como fuente de luz un dispositivo en el cual una porcion de materia cede energía en forma de radiaciones electromagnéticas de longitudes de onda comprendidas dentro del espectro visible, que se extiende, como usted sabe, desde los 4.000 hasta los 7.000 angstroms.

De todas las formas más generalizadas de producir luz en la actualidad, la más importante, con mucha diferencia respecto a las demás, es por medio de la energía eléctrica. Los métodos más usuales conocidos hasta ahora de transformar la energía eléctrica en energía luminosa son los de *incandescencia*, por *descarga eléctrica* y por *electroluminiscencia*.

Para empezar diremos que, en términos muy generales, las *lámparas incandescentes* son resis-

tencias eléctricas que se calientan fuertemente al paso de la corriente. Podemos compararlas a los hornillos y estufas eléctricas con resistencia, los cuales utilizamos para calentar algo (una olla o el ambiente de un local), aunque todos sabemos que producen un resplandor rojizo. Si en dichos dispositivos vamos acortando el hilo de que está constituida la resistencia, el resplandor será cada vez más vivo, más blanco y menos rojizo; dicho hilo se volverá incandescente y se fundirá. De hecho se quemará antes de alcanzar la verdadera temperatura de fusión, a causa de la fuerte oxidación producida por oxígeno contenido en el aire ambiente.

Los primeros pasos dados para utilizar el efecto térmico de la corriente eléctrica para la producción de radiaciones luminosas se remontan a principios del siglo pasado. En efecto, se sabía desde hacía mucho tiempo que un conductor delgado puede volverse incandescente si se hace circular por él una corriente eléctrica y que la radiación luminosa aumenta con la temperatura. Así, el físico inglés Grove colocó un alambre de platino arrollado en espiral en el interior de un vaso, el cual, a su vez, se introducía invertido en un recipiente lleno de líquido, de forma que impidiese la entrada del aire. Los dos extremos del alambre arrollado en espiral se conectaban al exterior con los bornes de una pila eléctrica. Esta lámpara producía una luz muy regular durante varias horas.

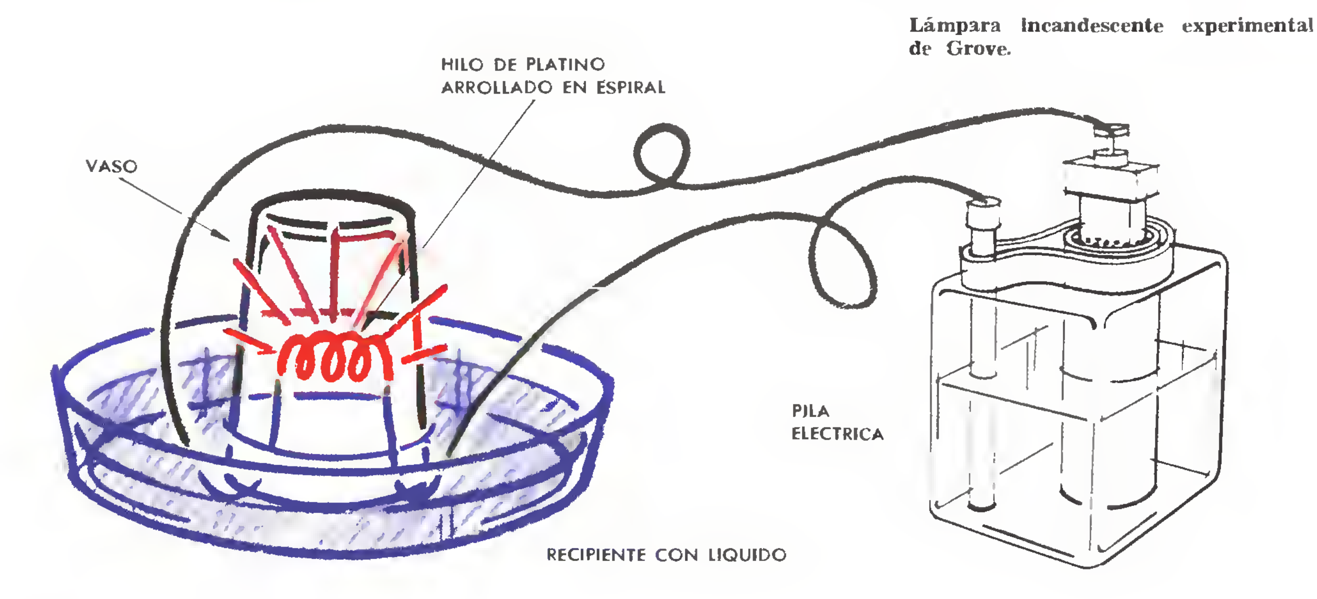
A mediados de siglo, en 1841, Moleyns patentó una lámpara en que el filamento estaba colocado en el interior de una ampolla de vidrio, en la que se había hecho el vacío para proteger el filamento de la oxidación producida por el aire. Los hilos de conexión atravesaban la pared de la ampolla de tal forma que no se producían entradas de aire.

No obstante, con un alambre de platino llevado a la incandescencia, no pudo nunca llegarse a construir un manantial luminoso verdaderamente práctico. La lámpara de filamento de platino no pasó de ser un producto de laboratorio, ya que dicho metal, aparte de su elevado precio, debía calentarse hasta muy cerca de su punto de fusión, 1.700° C, para obtener una intensidad luminosa conveniente, ocasionando la rápida destrucción del alambre de platino.

Pocos años más tarde, el investigador alemán Goebel descubrió que una hebra de bambú carbonizado era un buen conductor de la electricidad y que se ponía al rojo-blanco, colocada en una ampolla en la que se había producido el vacío.

Sin embargo, el estado de la técnica en aquella época no permitió que el descubrimiento de Goebel tuviera aplicación; en cambio, pocos años más tarde, después de largos experimentos con fibras de bambú, seda, coco y algodón, el inglés William Swan en 1878, y el americano Thomas A. Edison en 1879 fabricaron lámparas de incandescencia con hebras de bambú carbonizadas por el calor. En 1881, Edison iluminó la Exposición Internacional de París con mil lámparas de incandescencia.

Si bien tanto Swan como Edison lograron su objetivo con el mismo singular éxito, es al segundo a quien se debe que la Luminotecnia pudiera nacer y desarrollarse prodigiosamente como ha ocurrido. En efecto, Edison supo comercializar su patente lanzando al mercado lámparas dotadas de los accesorios necesarios, incluyendo hasta el generador o la batería.



Lámpara incandescente experimental de Grove.

Para facilitar la conexión y el recambio de las lámparas, Swan inventó el portalámparas tipo *bayoneta,* muy adecuado para instalaciones sujetas a vibraciones (automóviles, ferrocarriles, etcétera), y Edison inventó el portalámparas tipo *rosca,* conocido también por su nombre.

Llamamos *rendimiento luminoso* de una lámpara a la relación existente entre la energía luminosa obtenida expresada en *lumen* y la energía eléctrica, que ha sido necesario consumir para obtenerla, expresada en *vatios.* Esta relación se expresa en la forma siguiente:

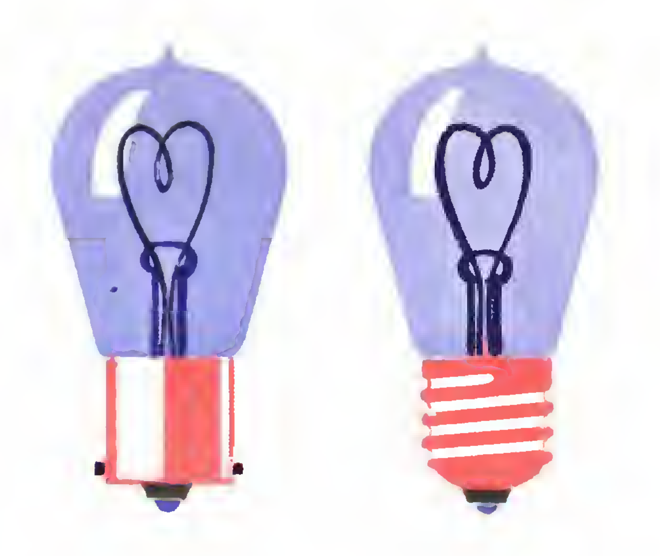
$$\frac{\text{lumen}}{\text{vatios}} \ldots (\text{Lm/W})$$

La transformación de la energía eléctrica en energía luminosa, en una lámpara de incandescencia se efectúa por el *efecto Joule,* es decir, por calor; pero para que el filamento no se queme por combustión en presencia del oxígeno del aire, dicho filamento debió encerrarse en una ampolla donde se produjera el vacío o se rellenara de *gas inerte.* A temperaturas no demasiado elevadas, la radiación emitida contiene gran proporción de rayos infrarrojos, y a medida que la temperatura aumenta la luz emitida es cada vez más blanca.

El filamento de la lámpara de Edison emitía luz a una temperatura de 1.800° C. Esta temperatura era la máxima que podía soportar un filamento de carbón, ya que a partir de ella se volatilizaba y se depositaba sobre la pared interna de la ampolla, que quedaba ennegrecida. Por un lado el filamento se consumía (debilitaba) y por otro la ampolla era cada vez más opaca, es decir, cada vez daba menos luz. El rendimiento de la lámpara incandescente de Edison era de 3 Lm/W.

La solución para aumentar el rendimiento de las lámparas estaba, pues, en buscar materias con punto de fusión más elevado que permitieran obtener una duración suficientemente larga a pesar de estar sometidas a temperaturas muy elevadas. Así, en 1902, Aver von Welsbach lanzó al mercado las primeras lámparas con filamento metálico, constituido por alambres de osmio (metal de muy difícil fusión, perteneciente al grupo del platino). El filamento de estas lámparas era muy frágil y fueron rápidamente desplazadas, en 1905, por las lámparas Siemens, cuyo filamento era de *tantalio.* Estas lámparas eran mucho más económicas y resistentes y permitían alcanzar temperaturas del orden de los 2.100° C, con lo cual el *rendimiento luminoso* llegó a ser de 8 Lm/W.

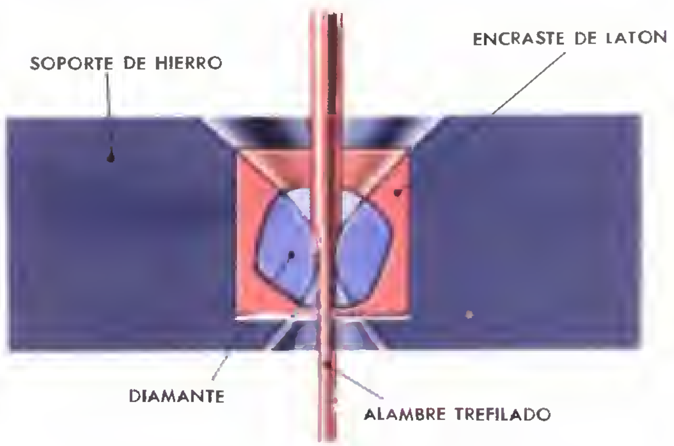
Poco después se descubrió el método que permitió trefilar (estirar un alambre) el más rebelde de todos los metales: el tungsteno. Este descubrimiento dio lugar a una verdadera revolución en la fabricación de lámparas, ya que el empleo del tungsteno (también llamado wolframio) permitió utilizar temperaturas extraordinariamente elevadas, 2.700° C, con lo cual se obtuvieron rendimientos lumínicos del orden de los 10 Lm/W. El empleo de lámparas de filamento de tungsteno data de 1907.



Portalámparas bayoneta de Swan. **Portalámparas Edison o de rosca.**

El trefilado se efectúa en los llamados *bancos de hileras,* en los que, tras un largo proceso mecánico y térmico, el alambre de tungsteno va estirándose y disminuyendo de diámetro hasta llegar a obtenerse un alambre finísimo utilizado para el filamento.

El alambre tiene que pasar por un gran número de hileras, y su diámetro va reduciéndose muy lentamente. Dada la dureza del tungsteno es preciso utilizar hileras de materiales muy duros; gran parte de ellas son de diamante y otras de rubí.



El alambre se reduce de sección trefilándolo (estirándolo) en hileras de diamante.



Cada hilera de diamante sirve para trefilar el alambre según un diámetro muy preciso.



En 1913 se da un gran paso en la fabricación de lámparas de incandescencia, al aparecer en el mercado una lámpara cuyo filamento de tungsteno se hallaba arrollado en espiral y cuya ampolla estaba rellena de gas inerte (nitrógeno o argón). El rendimiento luminoso era ya de 15 Lm/W.

En 1933 se fabrica la lámpara con filamento arrollado en doble hélice, con lo cual se consigue reducir el calor radiado y aumentar considerablemente la temperatura del filamento y, por tanto, la radiación luminosa. Así se llegó a la lámpara de incandescencia de uso general en la actualidad, y en el relleno de gas inerte puede decirse que se ha alcanzado el máximo desarrollo posible en estas lámparas.

Estas lámparas se han desarrollado para diversas aplicaciones y en diversas formas; y como final de estas consideraciones de carácter histórico diremos que durante este período los fabricantes lanzaron al mercado lámparas de vacío y de atmósfera gaseosa en diferentes formas, calidades y colores de la ampolla.

Dentro del desarrollo de las lámparas, cabe destacar aquéllas que producen luz por *descarga eléctrica* en el seno de gases o vapores. Los tipos

Lámparas de proyección

Lámparas con reflector

Yodo-Tungsteno

Lámparas especiales

1.933 — FILAMENTO DOBLE HELICE

1.913 — Gas inerte 15 Lm/n

1.907 — TUNGSTENO 10 Lm n

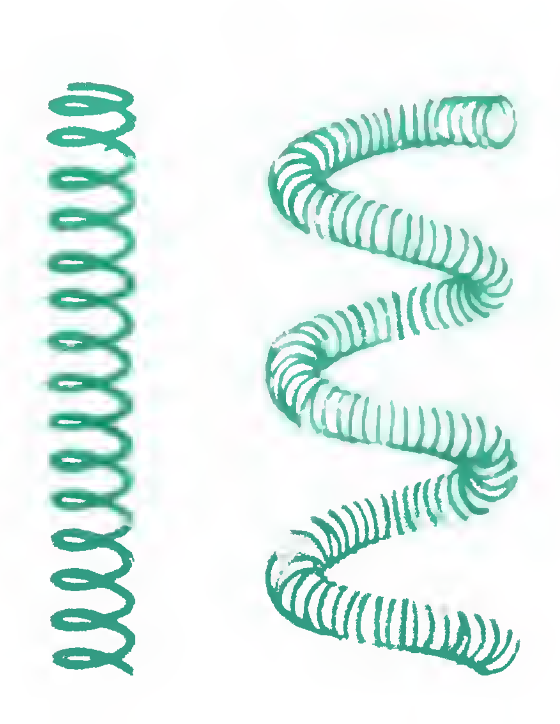
1.905 — Tantalio 8 Lm/n

1.902 — Osmio

1.880 — EDISON - carbón 5 Lm n

1.840 — Platino

Evolución de la lámpara incandescente desde 1800 hasta nuestros días.




Filamento arrollado en espiral.

Filamento arrollado en doble hélice.

más conocidos de lámparas que actúan bajo el principio de la descarga son los de sodio, mercurio y fluorescentes. La lámpara de descarga eléctrica es capaz de alcanzar rendimientos luminosos mucho más elevados que la de incandescencia y su evolución data de 1901, con la lámpara de Cooper Hewitt.

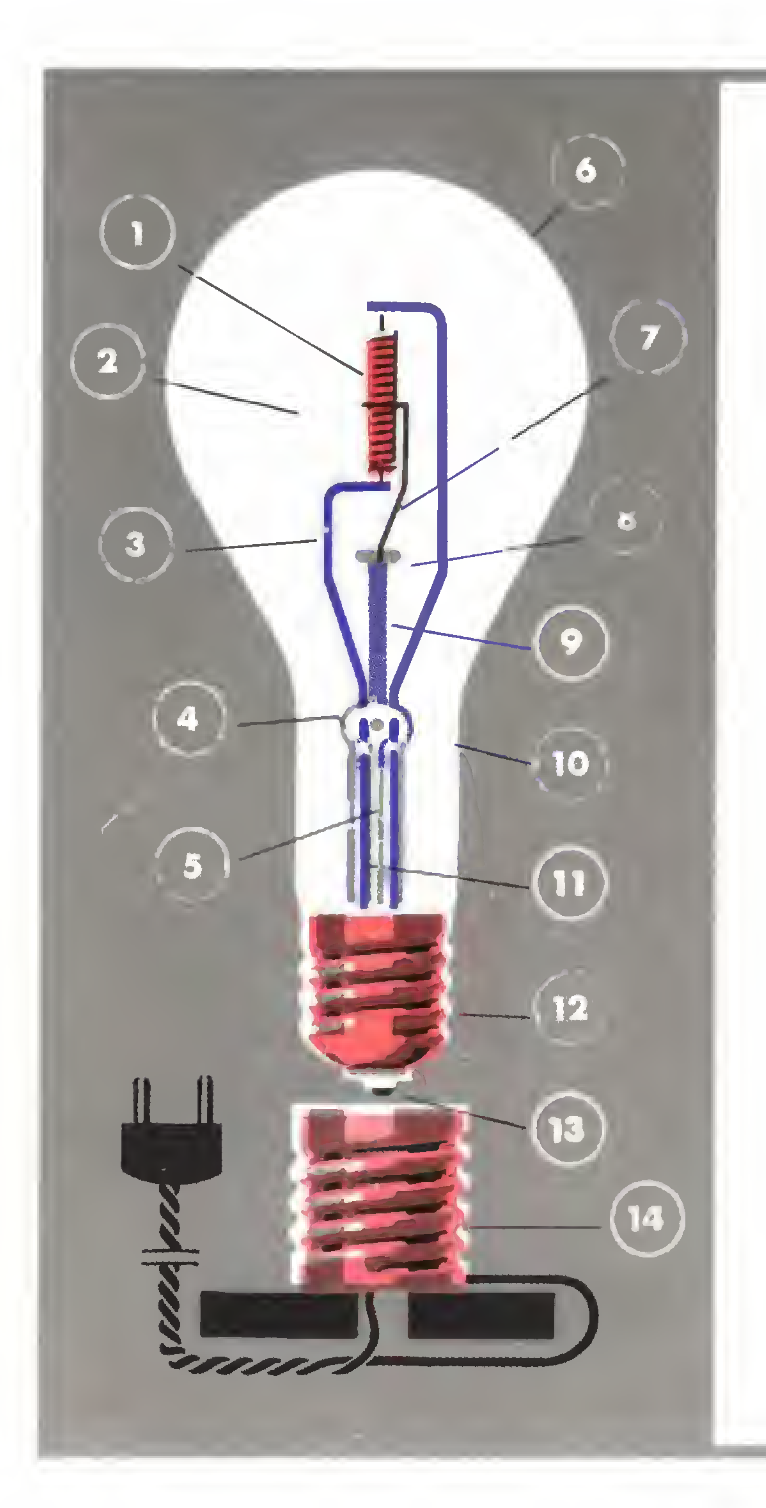
Finalmente, a las dos grandes categorías de fuentes de luz, alimentadas por energía eléctrica, *lámparas de incandescencia* y *lámparas de descarga en gases*, puede añadirse una tercera categoría, constituida por las *lámparas electroluminiscentes*, las cuales ya pasan de ser del puro dominio de la experimentación e investigación para entrar en el de la producción industrial.

Estas lámparas constituyen el tercer método de producir luz, el de la electroluminiscencia, por el cual la energía de un campo eléctrico alterno se transforma directamente en energía luminosa en el seno de un material sólido. Las lámparas electroluminiscentes se presentan generalmente en forma de paneles o baldosas luminosas, por lo que se denominan *panelescentes*, sin comportar ningún filamento, ampolla, etc. Últimamente se dio a conocer una nueva realización industrial en este dominio: las bandas electroluminiscentes, constituidas por grandes bandas luminosas de plástico.

Evolución de las lámparas de descarga desde 1900 hasta nuestros días.

LAMPARAS DE INCANDESCENCIA

La lámpara de incandescencia produce luz mediante un hilo o filamento colocado en una ampolla de vidrio y calentado hasta la incandescencia por el paso de una corriente eléctrica a través del mismo



Toda lámpara de incandescencia está constituida por los elementos básicos: ampolla de vidrio, filamento metálico y base o casquillo con sus contactos.

- **1** Filamento.
- **2** Vacío o gas inerte.
- **3** Varilla metálica para soporte del filamento y conductor de la corriente.
- **4** Prensado del soporte de vidrio.
- **5** Conducto para extracción del aire y eventual introducción posterior de gas inerte.
- **6** Ampolla de vidrio.
- **7** Soporte intermedio del filamento.
- **8** Botón de vidrio.
- **9** Varilla de vidrio.
- **10** Disco deflector del calor.
- **11** Tubo soporte y de conexiones.
- **12** Casquillo o base.
- **13** Disco de contacto.
- **14** Portalámparas.

ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DE LA LAMPARA

Los tres elementos esenciales de la lámpara de incandescencia son: la ampolla, la base o casquillo y el filamento.

En las modernas lámparas de uso más general, la ampolla es de vidrio claro, de forma más o menos esférica, y dotada de un cuello cilíndrico al que se adapta y une, por medio de un cemento especial, el casquillo, provisto de dos contactos que corresponden a los del portalámparas. Las dos extremidades del filamento se llevan cada una a uno de los contactos del casquillo por medio de dos conductores que quedan soldados dentro de un soporte de vidrio en forma de tubo. Este tubo lleva en su extremo unos finos soportes metálicos, que sostienen el filamento. Al mismo tiempo sirve para conectar el conjunto de la ampolla a la bomba de vacío, que extrae el aire de la misma y que, a continuación, en el caso de lámparas de atmósfera gaseosa, introduce el gas inerte requerido, sellando finalmente dicho tubo por su extremo preparado al efecto y por medio de distintos procedimientos.

LA AMPOLLA

Sabemos que el filamento incandescente debe estar encerrado en un espacio, la ampolla de vidrio, donde se ha hecho el vacío o donde se ha introducido un gas inerte, para impedir la desintegración rápida del mismo, debida a la oxidación en presencia del aire.

Las ampollas se fabrican en varias clases de vidrios, según sea el tipo de lámpara y el fin a que se destine. Las ampollas de lámparas corrientes de alumbrado se preparan con el llamado vidrio blanco, y las de alumbrado especial, las de proyección, etc., se construyen con vidrio duro resistente al calor, con el fin de evitar la rotura y explosión que produciría la lluvia o la nieve en contacto con la ampolla caliente, o bien, permitir alcanzar las elevadas temperaturas de funcionamiento de las lámparas de los aparatos proyectores.

A su vez, el vidrio de la ampolla puede ser tratado o no. El tratamiento puede consistir en un esmerilado exterior (tiene el inconveniente de absorber mucha luz y retener facilmente el polvo), en un esmerilado interior o en la aplicación de una capa difusora de luz, que daría a la ampolla una apariencia de cristal opalino. También puede emplearse cristal de color o una capa de laca aplicada al exterior de la ampolla: en las lámparas «luz de día» la ampolla es de un cristal azulado especial, que absorbe parte de las radiaciones rojas y anaranjadas, proporcionando así una luz de color parecido al de la luz del día; las lámparas cuya ampolla es de color amarillo se emplean con frecuencia al aire libre (terrazas de verano) para ahuyentar los insectos; las lámparas de «luz negra» que se emplean en los laboratorios fotográficos están dotadas de una ampolla de color oscuro que puede ser rojo, verde o amarillo, según el tipo de material o emulsión que se utilice.

El esmerilado interno o externo se obtiene produciendo una ligera corrosión por medio de un ácido, aplicado a la superficie interior o exterior de la ampolla. El esmerilado tiene la propiedad de difundir la luz y el inconveniente de absorber parte de ella; las ampollas cuyo interior se ha recubierto de sílice blanco poseen aún mayor poder de difusión. Las lámparas de globo blanco (denominadas opalinas) tienen un revestimiento blanco traslúcido sobre la superficie interna del mismo, con lo que reducen el deslumbramiento directo y reflejado de portalámparas de tipo abierto.

En las lámparas de luz coloreada, la ampolla puede ser de vidrio transparente coloreado por su superficie interior o exterior, o de vidrio coloreado añadiendo productos químicos en la masa del mismo.

Estas lámparas producen luz más pura que las primeras y se usan frecuentemente para el alumbrado teatral y fotográfico. Cuando se trata de usos domésticos, alumbrado decorativo y anuncios, se prefieren las lámparas con revestimiento coloreado por su coste más bajo; este revestimiento se obtiene por la aplicación de una capa pigmentada (coloreada) en la superficie interior o exterior de la ampolla transparente, mediante la fusión de un esmalte en la superficie externa (recubrimiento cerámico) o también por la aplicación de sílice ligeramente coloreado en rosa, azul y amarillo en la superficie interna. Los revestimientos sobre la superficie exterior no son permanentes, por lo que se aconseja su uso únicamente en lugares protegidos contra la intemperie; en cambio, los revestimientos interiores son adecuados tanto para interiores como para exteriores.

Otro acabado que se utiliza en las lámparas de alumbrado general es el globo plateado, que consiste en un revestimiento opaco plateado, aplicado a la superficie externa de la ampolla, con lo que la superficie interna es un reflector altamente especular, no afectado ni por el polvo ni por

el deterioro, manteniendo así su eficacia a lo largo de todo el tiempo de servicio de la lámpara.

El tamaño y la forma de las ampollas varían según el uso a que se destinan las lámparas. La figura adjunta muestra aquellas formas más corrientemente adoptadas para los usos generales que se indican en la misma y que todos conocemos por observación directa.

Lámparas normales para alumbrado.



Lámparas decorativas para alumbrado.

Lámparas con reflector incorporado.

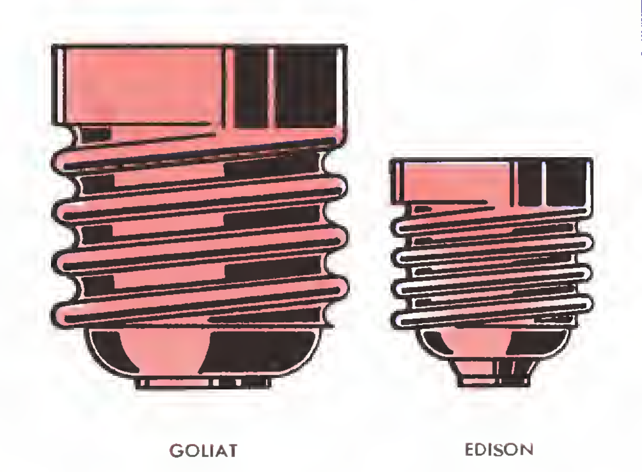
Lamparas para usos especiales.

BASES O CASQUILLOS

El casquillo constituye el soporte mecánico de la ampolla, por lo cual la lámpara puede ser fijada al portalámparas, pero permitiendo separarla del mismo para su recambio u otras manipulaciones. Asimismo el casquillo contiene los contactos, que corresponden con los del portalámparas, los cuales permiten la alimentación de corriente eléctrica del filamento.

Para finalidades de alumbrado en general, los casquillos más comúnmente utilizados son los de rosca, desarrollados por Edison: en lámparas de hasta 300 W se utiliza el tipo Edison, propiamente dicho, o de rosca media (E 27); para más de 300 W se utiliza el tipo Goliath o Mogul (E 40); en lámparas de pequeña potencia y de tipo decorativo se utiliza el casquillo de tipo Mignon (E 14) o de candelabro y en las lamparitas indicadoras o de señalización, el casquillo Mignonnette (E 10).

ROSCA (Edison)



BAYONETA (Swan)

20

CONTACTO SENCILLO

DOBLE CONTACTO

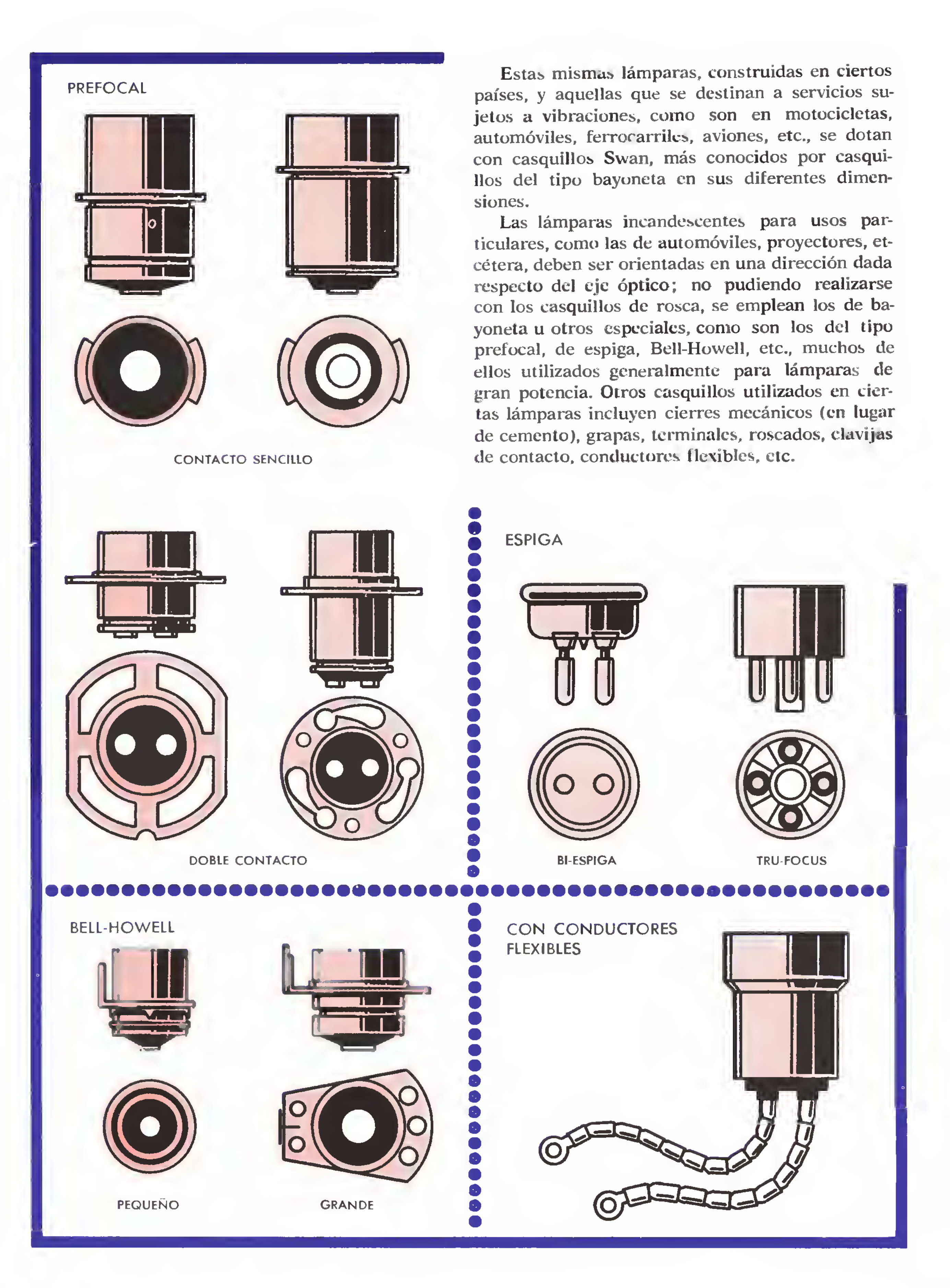
21 19 24 19 19

21,5 15 20 15 15

DIFERENTES TIPOS PARA AUTOMOVILES Y MOTOCICLETAS

Estas mismas lámparas, construidas en ciertos países, y aquellas que se destinan a servicios sujetos a vibraciones, como son en motocicletas, automóviles, ferrocarriles, aviones, etc., se dotan con casquillos Swan, más conocidos por casquillos del tipo bayoneta en sus diferentes dimensiones.

Las lámparas incandescentes para usos particulares, como las de automóviles, proyectores, etcétera, deben ser orientadas en una dirección dada respecto del eje óptico; no pudiendo realizarse con los casquillos de rosca, se emplean los de bayoneta u otros especiales, como son los del tipo prefocal, de espiga, Bell-Howell, etc., muchos de ellos utilizados generalmente para lámparas de gran potencia. Otros casquillos utilizados en ciertas lámparas incluyen cierres mecánicos (en lugar de cemento), grapas, terminales, roscados, clavijas de contacto, conductores flexibles, etc.



EL FILAMENTO

El filamento es el elemento productor de luz de la lámpara de incandescencia; es en esencia la fuente de luz propiamente dicha. El filamento de las lámparas actuales está constituido por un alambre de tungsteno arrollado en espiral, a su vez arrollada también en espiral. Para que se produzca emisión de luz, es necesario que la corriente eléctrica circule por este alambre arrollado que ofrece al paso de aquélla una cierta resistencia; es decir, cuando hablamos del filamento de una lámpara debemos referirnos forzosamente a sus caracteristicas eléctricas.

La potencia en vatios de una lámpara de filamento es igual a la tensión de alimentación marcada en el casquillo o sobre la ampolla en voltios multiplicada por la intensidad de corriente en amperios que pasa a través del filamento. Por la ley de Ohm, $I = E/R$, la corriente viene dada por la tensión y la resistencia, la cual a su vez depende de la longitud y diámetro del alambre o filamento $R = \rho\ l/s = \rho\ 4\ l/\pi\ d^2$.

Cuanto más alta sea la temperatura de funcionamiento del filamento, mayor será la proporción de energia emitida dentro del espectro visible, y cuanto mayor sea la potencia de una lámpara de tensión dada, más alta será la corriente; por tanto, mayor será también el diámetro necesario del filamento para conducirla. Cuanto más alta sea la tensión de una lámpara de potencia dada, más baja será la corriente y menor el diámetro del filamento.

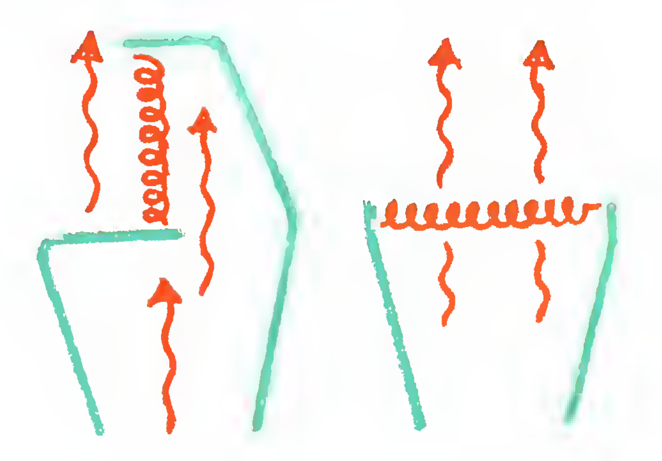
Hoy día, el filamento está casi exclusivamente constituido por el tungsteno por combinar las propiedades de un alto punto de fusión y de una evaporación lenta.

Las lámparas primitivas eran de filamento recto colocado en el vacío. Cuando se introdujeron gases inertes en el interior de la ampolla, se observó que espiralizando el hilo decrecía la superficie efectiva expuesta al gas y, por tanto, se reducía el calor perdido por conducción y convección y las espiras tendían a calentarse unas a otras, necesitando, pues, menos energía calefactora. Además, el filamento en espiral es más fuerte desde el punto de vista mecánico.

En la actualidad, casi todas las lámparas, ya sean de vacío o llenas de gas inerte, tienen el filamento arrollado en espiral.

El filamento en espiral puede ser simple, obtenido arrollando el alambre sobre una varilla, o doblemente arrollado en espiral. En este caso, el alambre arrollado simplemente como en el primer caso se arrolla a su vez en espiral cerrada o abierta sobre otra varilla. En todos los casos la varilla se elimina una vez finalizado el proceso de elaboración del filamento.

Según sea el tipo de lámpara y el fin a que ésta se destina, la colocación del filamento y su soporte viene dictada por el diámetro del cuello de la ampolla, por consideraciones de fabricación y por razones luminotécnicas. Si se coloca el filamento en posición vertical, en vez de horizontal, se obtiene una emisión luminosa mucho más alta, ya que la circulación por convección del gas inerte eleva la temperatura del filamento; además, el casquillo absorbe menos luz y la ampolla se ennegrece en una zona más reducida. En los proyectores, reflectores, focos, faros y balizas, etc., el filamento está concentrado en el mínimo espacio y, generalmente, sobre un mismo plano.

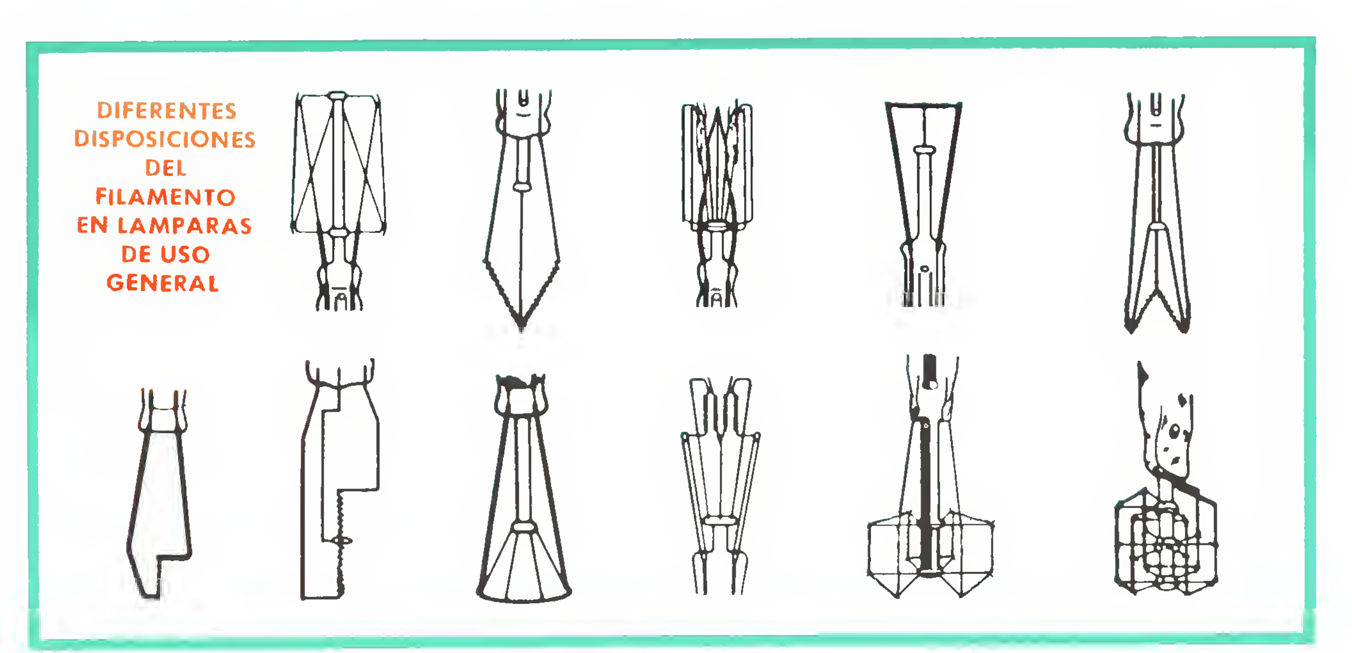


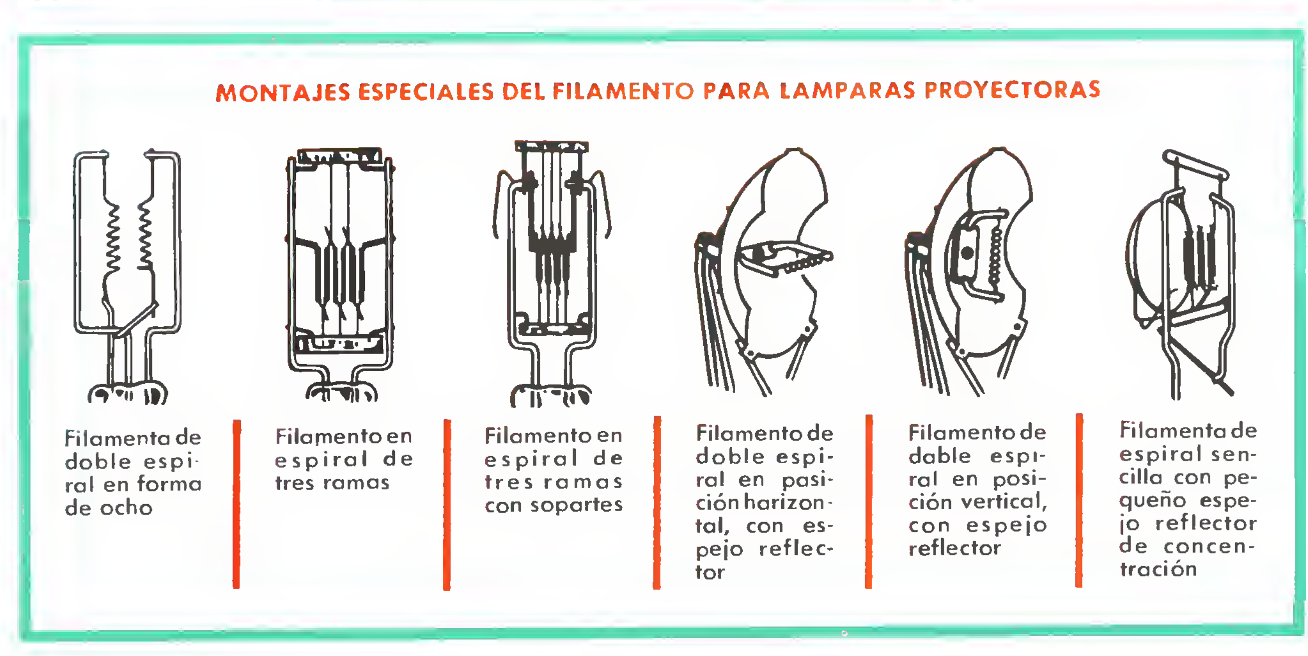
El filamento montado en vertical se calienta más y por tanto, emite más luz.



Lámpara de filamento espiralado montado verticalmente.

Lámpara convencional de filamento espiralado horizontal.





EL GAS DE RELLENO DE LA AMPOLLA

Para que el filamento no arda es preciso eliminar el oxígeno que pueda haber en su proximidad, y para ello se efectúa el vacío en la ampolla. Si, una vez obtenido el vacío, introducimos un gas inerte, se evitará aún más la evaporación del filamento, con lo que podremos alargar la vida de la lámpara, o bien, forzar aún más la temperatura del filamento, obteniendo más luz.

En lámparas de poca potencia se utilizan ampollas al vacío y, en lámparas de potencia media o elevada, ampollas rellenas de gas. Las lámparas proyectoras sutilizan una atmósmera de intrógeno y la mayor parte de las otras lámparas un gas mezcla de nitrógeno y argón. En las diminutas lámparas colocadas en el casco de los mineros se utiliza el gas criptón que, aun siendo caro y escaso, permite la máxima eficacia luminosa. Al contrario, en ciertos tipos muy especiales de lámparas de señales con flash se utiliza el hidrógeno, por proporcionar un enfriamiento muy rápido.

CARACTERISTICAS DE FUNCIONAMIENTO DE LA LAMPARA DE INCANDESCENCIA

Toda lámpara destinada a un servicio dado se caracteriza por los puntos siguientes:

— La tensión de funcionamiento.
— El consumo en electricidad.
— El flujo luminoso.
— La eficacia o rendimiento luminoso.
— La distribución luminosa.
— La duración o vida de la lámpara.
— Posicion de la lámpara.
— La temperatura y la naturaleza de la ampolla.
— La naturaleza del servicio a prestar.

TENSION DE FUNCIONAMIENTO

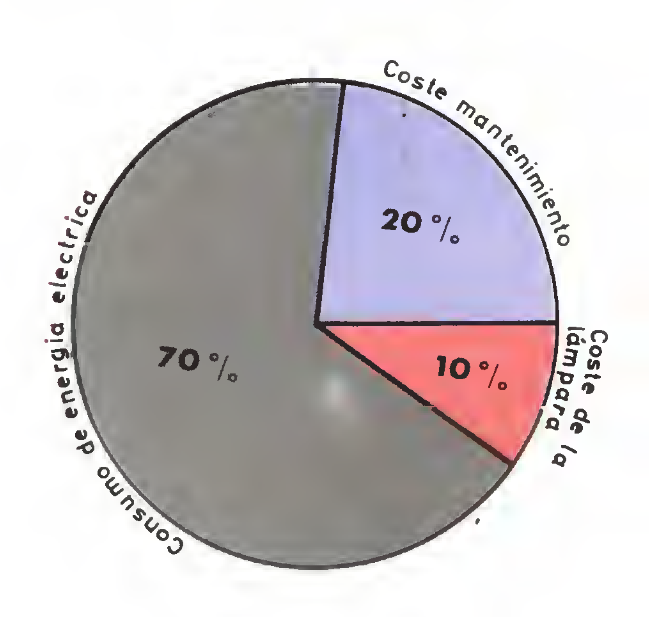
Las lámparas de incandescencia están previstas para una tensión determinada y llevan, bien en la ampolla o bien en el casquillo, la indicación de la tensión para la cual han sido fabricadas.

Si aumentamos la tensión en los bornes de la lámpara, aumenta la temperatura del filamento y, por tanto, se obtiene una mayor eficacia luminosa y un más alto rendimiento luminoso, desde luego a expensas de una mayor energía eléctrica consumida y desgraciadamente con un acortamiento de la vida de la lámpara. En cambio, con tensión inferior a la nominal, se reduce la energía consumida y aumenta la vida de la lámpara, pero se reduce la eficacia o rendimiento y la luz que emite. Si la tensión de alimentación se reduce en sólo un 7 %, el flujo luminoso disminuye en un 25 % y la duración aumenta en un 40 %, con un ahorro de energía de sólo un 12 %. El usuario y el fabricante deben adoptar una solución de compromiso, dictada por los precios relativos de la energia eléctrica y de las lámparas; pero como el coste de una lámpara es casi siempre pequeño en comparación con el de la energia eléctrica necesaria para hacerla funcionar a lo largo de sus aproximadamente 1.000 horas de vida, el aumento en horas de duración, que acompaña a la reducción o disminución de la tensión, no compensa económicamente la pérdida de rendimiento luminoso.

Las lámparas de incandescencia son muy sensibles a las variaciones de tension de la red; por tanto, el mantenimiento de la tensión adecuada es, pues, un factor decisivo para la obtención de un buen funcionamiento de las lámparas e instalaciones de alumbrado.

Sin embargo, a veces resulta más económico hacer funcionar lámparas a tensiones superiores a la normal. El coste de la energía eléctrica, el de los portalámparas y conductores, y el de las lámparas deben ser tomados en consideración, junto con el mayor rendimiento luminoso, al estimar las posibles ventajas del funcionamiento a tensión superior a la normal (esta tensión no debe aumentarse excesivamente, pues en tal caso correríamos el riesgo de fundir el filamento).

Asimismo, debe tenerse en cuenta la mayor duración junto al coste de reemplazamiento de una lámpara vieja por una nueva. En ciertos casos, el mejor rendimiento luminoso puede permitir emplear menos lámparas o puntos de luz. Como el coste de las lámparas representa una proporción bastante baja con relación al de la energía eléctrica que consumen, la eficacia de una lámpara es más importante que su precio y las lámparas de bajo rendimiento (viejas, sucias y ennegrecidas) no deberian nunca mantenerse en tal servicio; por tanto, para una buena economia debe reservarse una parte del coste total al mantenimiento de la instalación.



El coste de la lámpara es pequeño comparándolo con el de la energia eléctrica que consume: por tanto, es muy conveniente utilizar lámparas en muy buen estado (desechando las viejas) y conservarlas bien limpias (previendo el gasto necesario de todo mantenimiento).

CONSUMO DE ELECTRICIDAD

Al igual que la tensión nominal en volt, el consumo de electricidad en vatios se indica por un estampillado en la ampolla o en el casquillo. Las potencias, expresadas en consumo, mas adoptadas en las lámparas normales de alumbrado son: 15, 25, 40, 60, 75, 100, 150, 200, 300, 500 y 1.000 W.

FLUJO LUMINOSO

El flujo luminoso en lumen, si bien no viene estampillado en la misma lampara, se indica en las características facilitadas por el fabricante. El flujo luminoso de una lámpara viene determinado por la temperatura de su filamento. Cuanto más alta es la temperatura del filamento de una lampara dada, mayor es la eficacia (lumenes emitidos por cada vatio consumido) y menor la duración de la misma. Es un detalle mas a tener en cuenta al estudiar una instalación.

FLUJO LUMINOSO Y TEMPERATURA DEL FILAMENTO DE LAMPARAS NORMALES DE ALUMBRADO GENERAL A 125 VOLTIOS.

Potencia (Vatios)	Temperatura del filamento (°C)	Flujo luminoso (lumen)
40	2475	450
60	2500	750
100	2575	1450
200	2620	3000
300	2665	5000
500	2670	9500
1000	2720	20000

EFICACIA LUMINOSA

Por la tabla de flujo luminoso de las lámparas de incandescencia podemos observar que las lámparas de mayor potencia tienen un rendimiento más elevado que las de menor potencia. Así, por ejemplo, una lámpara que consume 1.000 W nos proporciona un flujo luminoso de 20.000 lumen cuando, en cambio, 10 lámparas de 100 W cada una y también 1.000 W de consumo en total sólo nos darán 1.450 × 10 = 14.500 Lm. Es decir, la lámpara de 1.000 W tiene una eficacia luminosa de 20.000/1.000 = 20 lúmenes por vatio (20 Lm/W) y la de 100 W, sólo de 1.450/100 = 14'5 Lm/W.

La eficacidad luminosa de una lámpara incandescente disminuye rápidamente durante las 100 primeras horas de funcionamiento y luego lentamente hasta las 1.000 horas que se consideran como vida útil de la misma. Por tal razón el fabricante, al indicar las características de la lámpara, siempre da el rendimiento o eficacia luminosa después de 100 horas de servicio.

DISTRIBUCION LUMINOSA

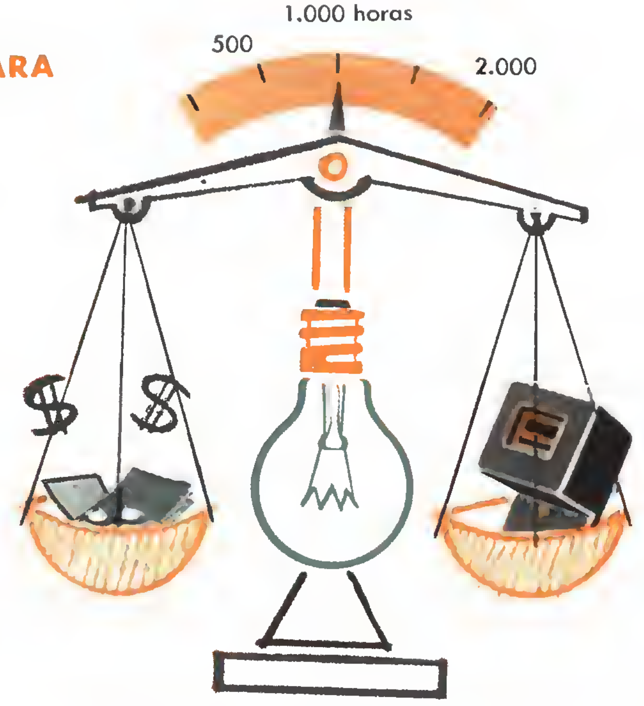
Como usted muy bien recordará, la repartición de la luz emitida por una lámpara se indica por el diagrama de intensidad luminosa. Cuando la lámpara constituye una fuente luminosa casi puntual o esférica, la curva de distribucion tiene sensiblemente la forma de un circulo; en lámparas de forma alargada, la curva adopta el trazado de dos círculos tangentes. En todos los casos, dicha curva presenta valores de intensidad luminosa muy bajos o incluso nulos en la direccion que corresponde a la del casquillo de la lámpara. Es lógico, puesto que es un cuerpo opaco.

LA DURACION O VIDA DE LA LAMPARA

La duración o vida de la mayor parte de lámparas de incandescencia ha sido establecida en una media de 1.000 horas de funcionamiento. Decimos una vida media, ya que representa el promedio de un grupo de lámparas de una misma serie, para las condiciones de servicio nominal (tensión correcta) y no significa que una lámpara determinada podrá funcionar exactamente durante 1.000 horas; habrá algunas que funcionarán o vivirán menos tiempo y habrá otras que durarán más.

Es perfectamente posible fabricar lámparas que duren más tiempo, pero para ello la lámpara debe trabajar más descansada, es decir, debe tener una menor eficacia luminosa (menos luz por cada vatio consumido); inversamente, si queremos más lúmenes por el mismo precio en energía consumida, la lámpara durará menos.

Ya hemos indicado anteriormente que, de hecho, el precio de coste de una lámpara es mínimo comparado con el de la energía que consume. Por tanto, vale más que tenga mucho rendimiento, aunque dure menos. Concluyendo, una lámpara es como una balanza: en un platillo colocamos su precio de coste, en el otro el de la energía consumida, y el índice nos indica su vida. El fabricante ha equilibrado la balanza de forma que el índice indica 1.000 horas de funcionamiento entre una buena iluminación, la duración de las lámparas y los KWh que nos marca el contador de energía eléctrica.



Resulta más económico forzar algo el rendimiento de las lámparas aunque duren menos.

POSICION DE LA LAMPARA

En general, las lámparas de incandescencia para alumbrado normal pueden funcionar en cualquier posición. Sin embargo, siempre será mejor que estén colocadas con el casquillo hacia arriba, ya que las partículas resultantes de la evaporación del filamento de tungsteno se depositarán siempre sobre la zona de la ampolla que se encuentre encima del filamento. Es decir, si encima del filamento se encuentra el casquillo, la luz que la lámpara dirige hacia abajo y a los lados no se verá obstaculizada, pero si al contrario, encima del filamento se encuentra la zona útil de la pared de la ampolla, ésta se ennegrecerá y disminuirá el rendimiento luminoso.

Ciertas lámparas, como las proyectoras, concentradoras, difusoras y algunas de alumbrado público, deben ser utilizadas según una posición recomendada por el fabricante de la lámpara.



Una lámpara incandescente, en general, puede funcionar en cualquier posición, pero si su casquillo está colocado hacia arriba, el rendimiento de la lámpara se mantendrá con mejor eficacia.

TEMPERATURA Y NATURALEZA DE LA AMPOLLA

Cuando las lámparas funcionan demasiado forzadas, es decir, el filamento alcanza temperaturas demasiado elevadas (en estas condiciones la lámpara da mucha luz), la ampolla puede ablandarse o fundirse, al igual que el cemento que la une al casquillo, y puede, incluso, averiar el portalámparas y los conductores de alimentación. La mayor parte de los portalámparas, reflectores, etcétera, están proyectados convenientemente para disipar el calor producido por las lámparas, pero en condiciones excesivas, como son las debidas al funcionamiento a tensión superior a la prevista, o el uso de lámparas de potencia superior a la proyectada, pueden surgir anomalías como las descritas. Las temperaturas máximas admisibles en funcionamiento son aproximadamente las siguientes:

En la ampolla de vidrio duro...	450° C
En la ampolla de vidrio blando	300° C
En el casquillo cementado...	175° C

NATURALEZA DEL SERVICIO A PRESTAR POR LA LAMPARA

El hilo de tungsteno calentado hasta la incandescencia llega a hacerse blando y las espiras pueden deformarse o romperse si la lámpara se encuentra sometida a sacudidas o a vibraciones. La vibración, especialmente cuando su frecuencia es elevada, es muy nociva para el buen funcionamiento y larga duración de la lámpara. Para proteger la lámpara en tales condiciones deberán adoptarse portalámparas y pantallas proyectadas para absorber dicha clase de vibraciones, o bien escogerse lámparas especiales en que el soporte del filamento ha sido concebido para un tal servicio.

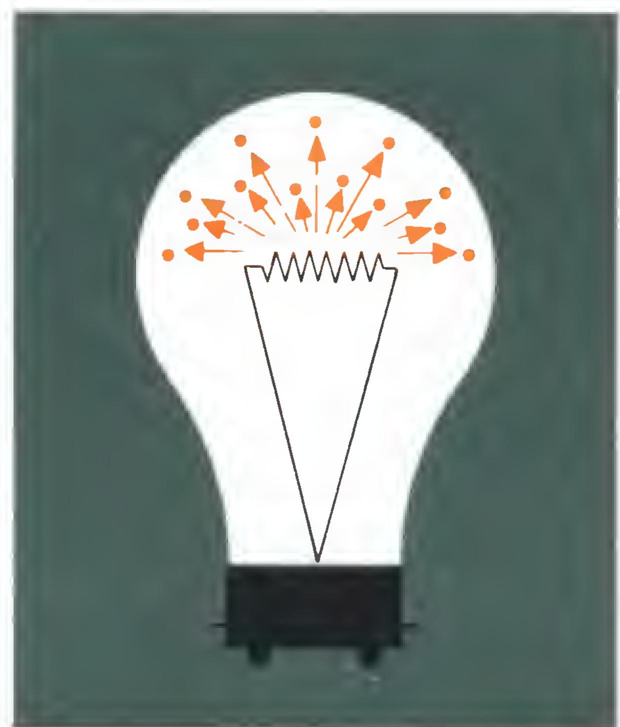
En aquellos casos en que se prevea que la lámpara está sometida a sacudidas violentas, se elegirán lámparas especiales con filamento resistente a los choques. La industria ofrece soluciones para todos los casos.

RECIENTES PROGRESOS EN INCANDESCENCIA: LA LAMPARA DE CUARZO-IODO-TUNGSTENO

Tal como ya ha sido indicado, una de las principales dificultades que se presentan en las lámparas de incandescencia es la evaporación del filamento, que limita la temperatura de funcionamiento y con ello el rendimiento de la lámpara. Otra dificultad, secundaria pero muy notable, también causa de la disminución de rendimiento luminoso, es que el tungsteno evaporado del filamento caliente, al llegar a la pared fría de la lámpara se condensa en ella y se convierte en una capa negra.

Se deduce, pues, claramente que para aumentar la duración de una lámpara de incandescencia y conservar estable su emisión luminosa, es necesario obstaculizar la evaporación del filamento, para que no se debilite, y evitar la sucesiva condensación de moléculas de tungsteno sobre la pared interna de la ampolla, para que ésta no se ennegrezca.

Para evitar el oscurecimiento de la ampolla se estudió, en el pasado, la posibilidad de introducir en su interior una sustancia capaz de reaccionar con el tungsteno, pasando al estado de vapor y formando un compuesto transparente. Con ello, la deposición del compuesto transparente sobre la pared de la ampolla no determinaría la disminución del flujo luminoso.



En una lámpara de incandescencia, el tungsteno del filamento caliente se evapora y al tocar la pared fría de la ampolla se deposita en ella oscureciéndola,

Entre las diferentes sustancias que han sido ensayadas, recientemente ha sido confirmado el iodo, el cual, además de formar con el tungsteno un compuesto transparente, da lugar a un curioso *ciclo regenerativo* del filamento. Es decir, por un lado se evita el ennegrecimiento de la ampolla y por otro se compensa el desgaste del filamento.

La lámpara de incandescencia de ciclo de iodo está constituida de un filamento de tungsteno, colocado en el eje de un tubo de cuarzo, sostenido en sus extremos con adecuados dispositivos de contacto y mantenido centrado con unas espirales también de tungsteno. Como la temperatura de la ampolla y del filamento de estas lámparas alcanza valores muy elevados, mucho más que los de las lámparas normales de incandescencia, ha sido necesario construir la ampolla con un cristal especial conteniendo cuarzo.

El tubo de cuarzo está lleno de un gas inerte, el argón, por ejemplo, para permitir que el filamento pueda trabajar a muy altas temperaturas y para favorecer el ciclo regenerativo del iodo. Durante la fabricación de la lámpara, junto con el gas inerte se ha introducido en el tubo una pequeñísima cantidad de iodo purísimo.

El *ciclo regenerativo del iodo* puede resumirse brevemente en la forma siguiente:

Una vez el filamento ha alcanzado le temperatura de 3.000° C y la ampolla (tubo de cuarzo) la de 700° C, los átomos de iodo se difunden hacia las paredes de cuarzo de la lámpara, donde se encuentran con los átomos de tungsteno procedentes de la evaporación del filamento.

Normalmente, en una lámpara de incandescencia, sabemos que estos átomos de tungsteno evaporado se depositan en la pared y oscurecen la lámpara; en cambio, en la lámpara de iodo, las moléculas de tungsteno y de iodo se combinan entre ellas, formando un gas transparente que se difunde, esta vez, hacia el filamento, y al llegar a él, debido a la elevada temperatura del mismo, el compuesto iodo-tungsteno se descompone de nuevo en átomos de iodo y átomos de tungsteno. Los átomos de tungsteno vuelven pues, al filamento, con lo que se recupera lo que había evaporado y los átomos de iodo se dirigen de nuevo a la pared de la ampolla para recomenzar el ciclo de regeneración del filamento.

La reconstitución automática del filamento, gracias al ciclo descrito, comporta evidentemente una mayor vida útil de la lámpara y una perfecta constancia del flujo luminoso emitido.

El desarrollo del ciclo de iodo impone, no obstante, ciertas exigencias particulares en la fabricación de la lámpara y en las condiciones de servicio. Así, como ya hemos indicado, la pared de la



CICLO REGENERATIVO DEL IODO

Gracias a este ciclo la ampolla no se ennegrece y el filamento recupera el tungsteno que va evaporándose. Con ello la lámpara dura mucho más, puede dar más luz y el flujo luminoso se mantiene constante durante todo el tiempo de servicio o vida de la lámpara.

ampolla debe encontrarse a 700° C, y una tal temperatura no puede resistirla ninguna de las calidades de vidrio empleadas para la fabricación de lámparas; de ahí que la ampolla de la lámpara de iodo sea de cuarzo. Además, para obtener esta temperatura de 700° C en la pared de la ampolla es necesario que la distancia del filamento a la misma sea muy corta, y dicha temperatura debe ser lo más uniforme posible en toda la superficie de la pared; por estos dos motivos ha tenido que adoptarse la forma tubular y obtener lámparas de muy reducidas dimensiones si las comparamos con las clásicas de incandescencia de la misma potencia.

Al mismo tiempo, el filamento puede trabajar a temperaturas muy elevadas (3.000° C), con lo que se obtiene muy buen rendimiento luminoso y la luz producida es de mejor calidad.

En cuanto a la duración de las lámparas de iodo se establece en 2.000 horas, es decir, el doble de la correspondiente a las lámparas de incandescencia normales, aunque proporcionando mayor flujo luminoso. Cuando una lámpara normal de incandescencia llega al 70 % de su vida, el flujo luminoso emitido queda aproximadamente reducido al 80 % del valor inicial e incluso menos. Una lámpara de yodo, al llegar al 99 % de su vida, conserva prácticamente el mismo flujo luminoso inicial.

La forma tubular y el reducido tamaño de las lámparas de iodo es especialmente indicado para concentrar grandes potencias en espacios reducidos. Varias firmas americanas han lanzado al mercado proyectores especialmente diseñados para lámparas de iodo, la mayor parte de ellos destinados al alumbrado de exteriores por inundación de luz, es decir, de edificios, monumentos, campos de deporte, aeropuertos e instalaciones similares.



Lámparas de incandescencia de cuarzo-iodo-tungsteno de construcción americana de 1.500 W y 500 W, indicándose las longitudes del tubo y deduciéndose que por su potencia son de dimensiones muy pequeñas comparadas con las lámparas normales. El flujo luminoso de la primera es de 33.000 lumen y el de la segunda, de 10.500 lumen.

LAMPARAS DE DESCARGA

Como ya hemos dicho, la lámpara de incandescencia es un radiador puramente térmico, es decir, una fuente de luz que debe su poder luminoso a la elevada temperatura del filamento. Desde hace mucho tiempo se sabía que la radiación luminosa podía obtenerse por otros medios que no fueran la incandescencia. Las luciérnagas, muchos insectos tropicales, las bacterias de la putrefacción y los organismos causantes de la luminiscencia del mar, producen todos ellos luz a baja temperatura. He ahí un fenómeno que ha atraído la atención de los científicos.

PRINCIPIO DE LAS LAMPARAS DE DESCARGA

En la lámpara de incandescencia la corriente eléctrica recorre el hilo metálico del filamento; en una lámpara de descarga, la corriente debe atravesar un gas o vapor metálico.

El gas contenido en la ampolla, al igual que toda materia, está formado por un cierto número de moléculas y, por tanto, de átomos constituidos, como se sabe, de un núcleo y de electrones orbitales, además de una cierta cantidad de electrones libres que giran desordenadamente en el seno de dicho gas. Si aplicamos una tensión suficientemente elevada a los electrodos de una lámpara de descarga, los electrones libres serán atraídos por el polo positivo y, como son muy ligeros, adquirirán una gran velocidad en su trayecto hacia el ánodo, chocando con gran fuerza sobre los átomos de gas que encuentran en su camino. Si la violencia del impacto es suficiente harán «estallar» el átomo, es decir, lo disociarán en nuevos electrones liberados o *iones* y cargas positivas, que son los átomos desprovistos de electrones liberados. Las cargas positivas en su viaje de atracción hacia el cátodo o polo negativo, y los electrones libres en el suyo hacia el ánodo o polo positivo, chocarán con otros átomos de gas, multiplicando cada vez más el número de cargas eléctricas positivas y negativas, que se dirigirán hacia el polo respectivo. Podemos decir que se produce una «excitación» en el seno del gas metálico, y a este estado excitado se le denomina *electrización* o *ionización*. Si no se adoptaran métodos especiales, el alud electrónico sería cada vez más importante, podría llegar a ser ilimitado y la lámpara llegaría a inutilizarse.

El proceso es del mismo género que el de la fisión nuclear, que tiene lugar en las pilas atómicas y bombas del mismo nombre, con la única diferencia de que la lámpara de descarga emite energía luminosa y la pila atómica general, energía calorífica. En la pila atómica, al igual que en la lámpara, la reacción atómica en cadena se controla dentro de límites bien determinados; en cambio, en la bomba atómica se permite la fisión libre de los átomos sin contención alguna, llegando a la destrucción total que por desgracia conocemos.

El estado de electrización o ionización hace que el gas contenido en la ampolla, entre los dos electrodos, sea conductor y permita el paso de la corriente de alimentación de la lámpara. La disociación de electrones se efectúa con liberación de energía (al igual que en la pila o en la bomba atómica) en forma de radiaciones, de las cuales un buen porcentaje pertenecen al espectro, es decir, capaces de excitar nuestra retina.

Según sea la naturaleza del gas o vapor metálico contenido en la ampolla, la longitud de onda de radiación es diferente, es decir, de un color diferente y bien definido. En la lámpara de incandescencia, la emisión luminosa comprende radiaciones en muchas longitudes de onda, que abarcan del infrarrojo al ultravioleta; en la lámpara de descarga la luz emitida corresponde a una radiación de longitud de onda exactamente especificada.

Hace alrededor de un siglo, el soplador de vidrio Geissler construyó tubos de cristal rellenos de aire enrarecido, a través de los cuales se hacía pasar una corriente eléctrica; el contenido de estos tubos emitía entonces radiaciones luminosas vivamente coloreadas. Geissler hizo variar los colores, sustituyendo el aire enrarecido por otros gases o mezclas de los mismos; el relleno con anhídrico carbónico produce una luz «blanca» excelente, ya que posee un espectro prácticamente continuo. En 1901 se emplearon lámparas de descarga en gas de esta clase (luz Moore) para iluminar una sala de exposiciones en Amsterdam, atrayendo con ello muchos espectadores. Sin embargo, la luz de descarga en gas se abrió poco camino al principio; en parte porque el rendimiento luminoso era muy bajo, en comparación con el de la lámpara de incandescencia, mucho más sencilla. Sin embargo, el tubo relleno de neón, que produce luz de un color rojo brillante, pronto se convirtió en un medio popular de anuncio.

Dentro de las modernas lámparas de descarga consideramos las de sodio, mercurio, fluorescentes y las de xenón.

Toda lámpara de descarga está constituida por una ampolla de vidrio, generalmente en forma de tubo cerrado por sus extremos, dotada de sus correspondientes electrodos. El tubo o la ampolla contiene el gas elegido para la descarga (neón, nitrógeno, argón, helio, etc.) o una pequeñísima cantidad de metal adecuado (sodio, mercurio), el cual funde y se vaporiza en el inicio de la descarga. Las dimensiones de las lámparas de descarga dependen de la distancia que separa los electrodos, de la cantidad de gas o de vapor y de su presión, así como de la tensión eléctrica en bornes de los electrodos.

Dijimos que la ionización, especie de alud electrónico, aumenta y aumentaría hasta el infinito, al igual que la intensidad de corriente que atraviesa el gas, si no se limitara por un método u otro. La *estabilización* se obtiene por medio de diferentes dispositivos auxiliares, según sea el tipo de lámpara, como veremos: resistencias, transformadores, autoinductancias, filamentos de incandescencia, etc.

En el caso de utilizarse un estabilizador de tipo inductivo (autoinductancia, transformador) se produce un defase entre la intensidad de la corriente que circula por la lámpara y la tensión en sus bornes, y da lugar a un consumo de energía reactiva, que es necesario compensar con un condensador conectado en paralelo. Constituye el caso clásico de corrección del factor de potencia de la instalación.

Un caso particular de luminiscencia, producida por las lámparas de descarga, lo constituye la fluorescencia, y las lámparas que utilizan esta propiedad se denominan fluorescentes.

Las sustancias fluorescentes tienen la propiedad de transformar las radiaciones de una longitud de onda bien determinada en radiaciones de longitud más elevada; de hecho estas sustancias podrían denominarse «cambiadoras de frecuencia» o «transformadores de longitud de onda».

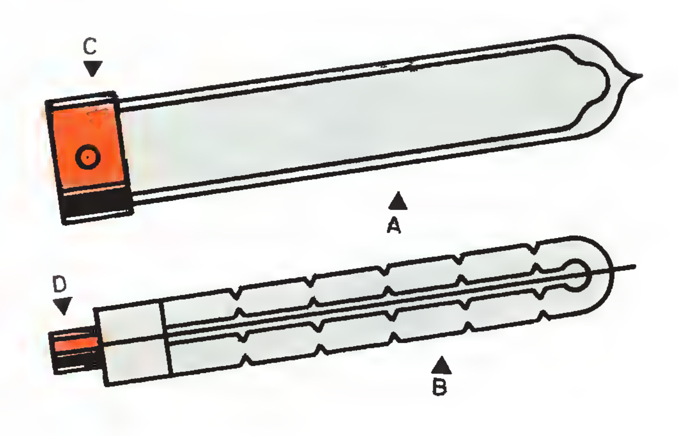
La descarga en las lámparas de vapor de mercurio produce no solamente radiaciones visibles, sino también radiaciones ultravioletas invisibles, las cuales normalmente son absorbidas por la ampolla y no se propagan al exterior. No obstante, si en la superficie interior de la ampolla depositamos una capa de ciertas sustancias fluorescentes aprovecharemos las radiaciones ultravioletas transformándolas en radiaciones visibles.

Este es un buen sistema para mejorar la eficacia de la lámpara.

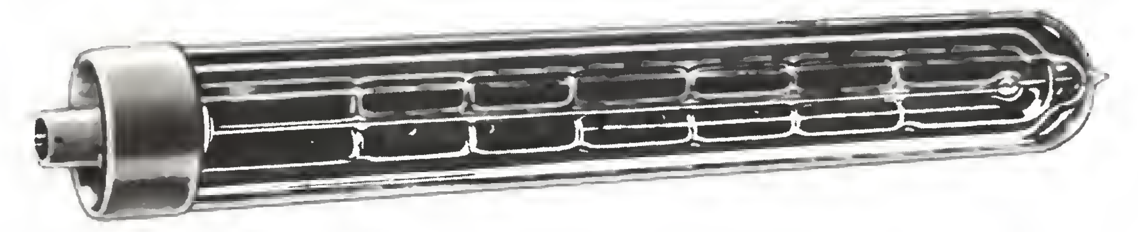
LAMPARAS DE VAPOR DE SODIO

Las lámparas de descarga en vapor de sodio están constituidas por un tubo de vidrio de composición especial, doblado en U, lleno de un gas raro, a baja presión, y que contiene además una pequeña cantidad de sodio metálico, el cual puede distinguirse perfectamente en forma de gotitas cuando la lámpara está fría. En los extremos del tubo hay dos electrodos soldados en el vidrio y conectados a los contactos del zócalo, generalmente del tipo bayoneta.

Cuando se conecta la lámpara a la red de alimentación se produce la ionización y descarga en el seno del gas, dando lugar a la emisión de luz del color rojo del neón que contiene. A medida que las gotitas de sodio van vaporizándose, la descarga da lugar a la emisión de color anaranjado característica del sodio. Una lámpara de vapor de sodio exige unos diez a quince minutos para alcanzar su pleno régimen.



A. Campana de vacio.
B. Tubo de descarga.
C. Anillo de montaje con muelle.
D. Casquillo bayoneta.



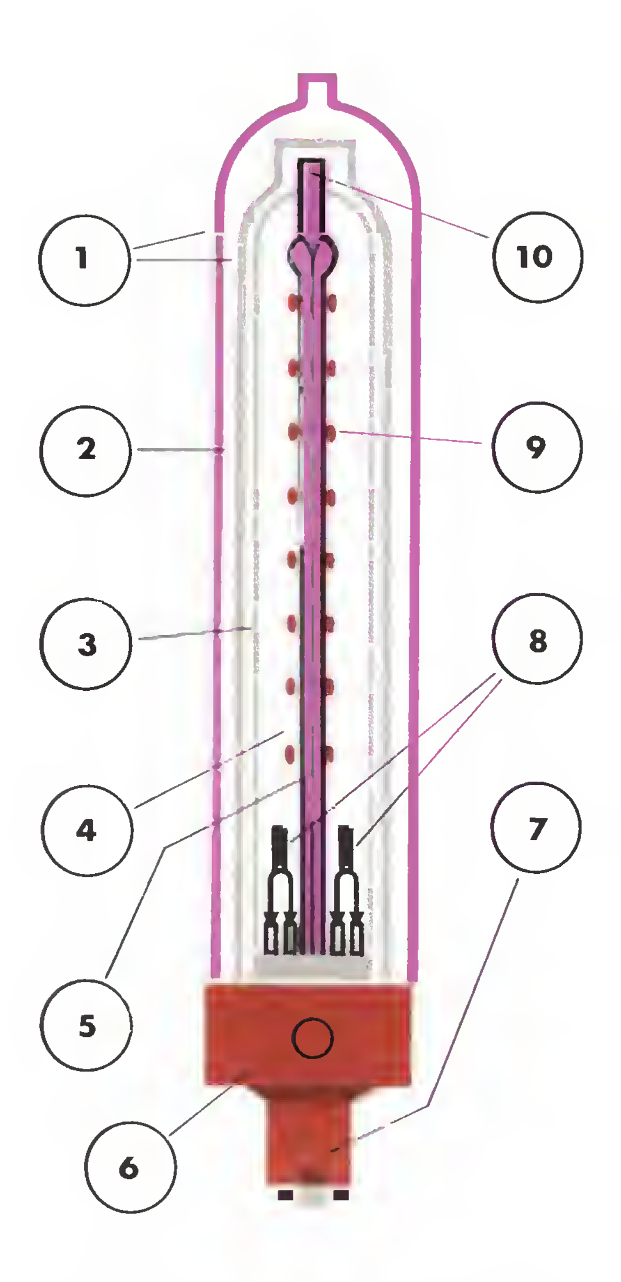
· Una vez cebada la descarga, el calor que desprende debe bastar para mantener la emisión luminosa y hacer predominar la radiación del sodio sobre la de la mezcla gaseosa de neón y argón. El buen funcionamiento exige una cierta temperatura, y para mantener ésta es necesario limitar las pérdidas caloríficas; para ello se rodea la lámpara y la capa de aire que la envuelve con una campana de vacío de doble pared (como una botella termo para líquidos).

A la temperatura a que se encuentra el interior del tubo de la lámpara, el sodio ataca rápidamente todos los vidrios normales ennegreciéndolos; este ataque se evita recubriendo el tubo, fabricado con vidrio normal, con una delgada capa de vidrio al ácido bórico en lugar de sílice.

Para facilitar el cebado (iniciación de la descarga) la lámpara comporta un electrodo auxiliar en el centro del tubo, solidario en su exterior, con una varilla soporte para fijación del mismo en el interior de la campana. Este electrodo auxiliar está conectado eléctricamente a uno de los electrodos principales.

Las lámparas de vapor de sodio necesitan como aparato auxiliar un transformador de dispersión que aumente la tensión de la red usual de 220 V a la requerida para el cebado. Al mismo tiempo este transformador actúa de estabilizador de la corriente evitando la ionización desencadenada y, por tanto, la destrucción de la lámpara. Las lámparas más frecuentemente utilizadas son las de 2.700, 4.300, 7.000 y 10.000 lumen de flujo luminoso, con potencias respectivas de 45, 60, 85 y 140 W. Estas lámparas deben utilizarse preferentemente en posición horizontal para que el sodio se reparta horizontalmente. La duración o vida media de la lámpara es de 3.000 horas, al final de las cuales el flujo luminoso se reduce a los 3/4 del valor inicial. Su eficacidad luminosa es elevada, y varía entre 40 y 75 lm/W en comparación con la de las lámparas de incandescencia (10 a 20 lm/W).

La elevada eficacia luminosa de estas lámparas y su radiación monocromática (naranja), coincidiendo con una de las radiaciones más sensibles a nuestra retina y permitiendo un gran contraste de los objetos observados, hacen que sean adecuadas en aquellos casos en que se desee una fácil percepción y una economía de consumo en energía eléctrica. Su luz monocromática no permite la buena distinción de los colores. Por ello sólo se utilizará en aquellos lugares, generalmente al exterior, en que dicha distinción no sea necesaria (alumbrado público, muelles, depósitos y almacenes). Debido al color característico de la luz emitida son muy adecuadas para las luces de aterrizaje de los aeropuertos.



Aspecto de una lámpara de descarga en vapor de sodio. 1. Campana de vidrio de doble pared. - 2. Vacío. - 3. Ampolla o tubo doblado en U de vidrio al ácido bórico. - 4. Mezcla gaseosa de neón y argón. - 5. Varilla para soporte y fijación del tubo en U dentro de la campana. - 6. Base. - 7. Casquillo bayoneta. - 8. Electrodos - 9. Gotas de sodio metálico - 10. Electrodo auxiliar de cebado.

No obstante, las lámparas de sodio, a pesar de ser aún muy populares en Europa, en Norteamérica son sustituidas paulatinamente por otras lámparas, como las de mercurio, amarillas y revestidas de fósforo.

LAMPARAS DE VAPOR DE MERCURIO

Mientras las lámparas de vapor de sodio deben funcionar a baja presión para que den un buen rendimiento, las lámparas de vapor de mercurio tienen una presión elevada en régimen normal.

En este tipo de lamparas el «gas» es mercurio vaporizado, que a la temperatura ambiente es un líquido que puede verse en forma de gotitas a través de la pared en el interior de las lámparas apagadas. Para facilitar el arranque se introduce también un gas inerte fácilmente ionizable: el argón.

El tubo de descarga de estas lámparas es más corto, pero más ancho que el de las lámparas de vapor de sodio. Este tubo está también colocado dentro de una ampolla en que se ha practicado el vacío, la cual, aparte del aislamiento térmico que proporciona, constituye un aislamiento o protección eléctrica contra las piezas que se encuentran bajo tensión.

El arco o descarga se produce primeramente a través del gas argón por medio de uno de los dos electrodos principales y un electrodo auxiliar de arranque; el calentamiento producido por esta descarga inicial vaporiza el mercurio y hace gradualmente conductor el espacio comprendido entre los



Lámpara de vapor de mercurio.

1. Soporte para mantener en su correcta posición el tubo de descarga. - 2. Bastidor para alineación del tubo. - 3. Tubo de cuarzo en cuyo interior se produce la descarga. - 4. Ampolla de vidrio duro. - 5. Electrodos principales. - 6. Base de conexiones con resistencia de arranque. - 7. Casquillo. - 8. Electrodo de arranque.

dos electrodos principales. El período de arranque dura aproximadamente cinco minutos.

El electrodo auxiliar de arranque está conectado al otro electrodo principal a través de una resistencia de valor elevado, incluida en la misma base de conexiones del tubo de descarga en el interior de la ampolla.

Al apagarse una lámpara de vapor de mercurio no puede volverse a encender hasta que no esté completamente fría (unos cinco minutos). Ello es debido a que estas lámparas funcionan a presión elevada (una vez el mercurio se ha vaporizado), y para provocar la descarga es necesario que la temperatura y la presión desciendan hasta un cierto valor.

A diferencia de las lámparas de vapor de sodio, las de mercurio, como han de funcionar en posición vertical, pueden montarse en los mismos aparatos de iluminación de las lámparas de incandescencia.

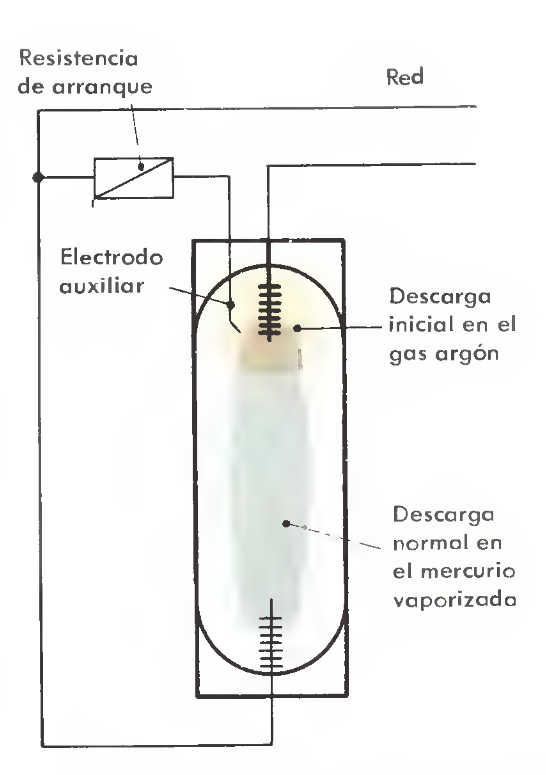
Las lámparas de vapor de mercurio están generalmente previstas para 10.000 y 20.000 lumen de flujo luminoso. Su eficacia luminosa es de unos 40 lm/W y su vida media es de unas 3.000 horas, al final de las cuales el flujo luminoso se reduce en un 20 %.

La mayor parte de las lámparas de mercurio se construyen con un tubo interior de cuarzo (en algunos tipos de vidrio duro), que contiene el arco, y otro exterior de vidrio (a veces en forma de ampolla esférica o semiesférica), que protege el tubo interior de los cambios de temperatura y actúa en muchos casos de filtro para retener algunas longitudes de onda de la radiación del arco.

En las lámparas reflectoras, la ampolla externa sirve también para dirigir la luz en forma de haz, mediante un revestimiento reflector metálico aplicado en su cara interna. En las lámparas fluorescentes de mercurio, la superficie interna de la ampolla exterior se reviste con un fósforo blanco que convierte una gran parte de la energía ultravioleta emitida en luz visible.

Las lámparas de mercurio para alumbrado producen una radiación luminosa con preponderancia en la zona del azul, y aunque la sensibilidad de la retina a dicha radiación sea muy elevada, con estas lámparas no se obtiene una eficacia luminosa tan favorable como en las de vapor de sodio, a causa del gran porcentaje de energía emitida por la lámpara de mercurio, principalmente en las zonas visibles del infrarrojo y del ultravioleta.

El tono muy frío, blanco azulado y con carencia absoluta de radiaciones rojas, hace que estas lámparas no se empleen para alumbrado de interiores, ya que los objetos de color rojo aparecen negros y los objetos de color mezcla con el rojo (anaranjado, etc.) son falseados a nuestra vista. Se



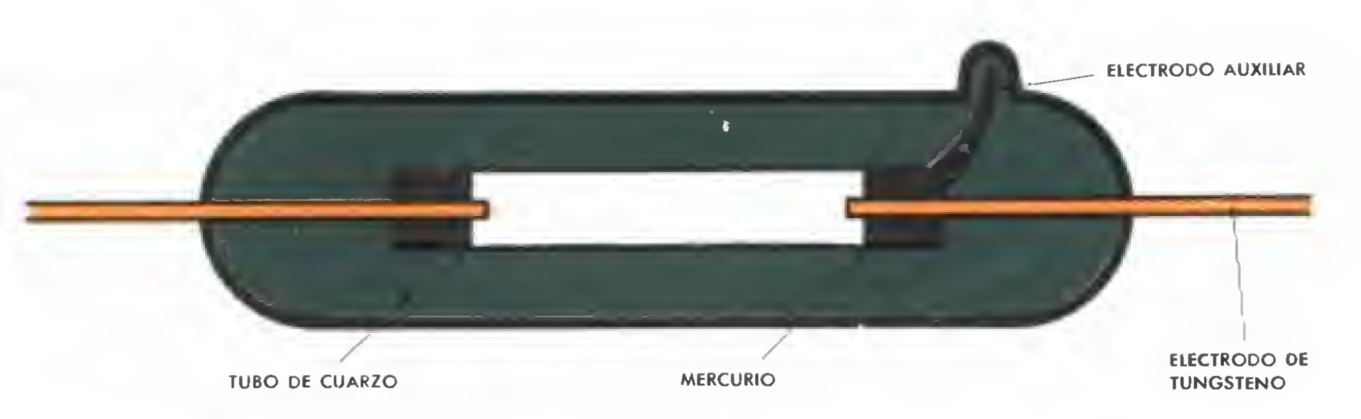
Esquema de conexiones interiores en una lámpara de vapor de mercurio.

utilizan preferentemente para alumbrado público, para fábricas y en casos muy especiales, como son, por ejemplo, lámparas bactericidas para la destrucción de microorganismos, lámparas para producir ozono, para el tratamiento de eritemas de la piel, etc. (En estas aplicaciones especiales, la construcción de la lámpara también es especial si tenemos en cuenta las particularidades del servicio a prestar.)

La lámpara de descarga a vapor de mercurio es la convencional denominada de alta presión, y partiendo de ella se han desarrollado otros tipos derivados que son las de muy alta presión, con ampolla fluorescente, de luz mixta y las muy conocidas fluorescentes de baja y alta tensión.

Las lámparas de valor de mercurio a muy alta presión (100 atmósferas) no se utilizan para el alumbrado propiamente dicho, sino únicamente como fuentes de luz en los aparatos de proyección. Se componen de un tubo de cuarzo en cuyos extremos penetran dos electrodos de tungsteno, que emergen de una pequeña cantidad de mercurio. A causa de su elevada potencia y de sus pequeñas dimensiones, es indispensable refrigerar estas lámparas por circulación de agua.

La radiación de estas lámparas comprende un espectro continuo bastante extenso para que puedan ser utilizadas, incluso en la toma de películas en colores.



Lámpara de mercurio de muy alta presión (100 atmósferas).

Para mejorar la reproducción de los colores de las lámparas de vapor de mercurio normales de alta presión para alumbrado, se depositan sustancias fluorescentes sobre la pared interior de la ampolla. Las radiaciones ultravioletas atraviesan el tubo de cuarzo y son transformadas por dichas sustancias en radiaciones visibles, que se extienden por todo el espectro, y permiten una reproducción de los colores netamente superior a la de las lámparas de vapor de mercurio que consideramos normales.

Estas lámparas se denominan de *alta presión con ampolla esférica fluorescente* o de *color corregido*.

Lámpara de vapor de mercurio de color corregido.



F. Capa de polvo fluorescente.
r. Resistencia del electrodo auxiliar.
e. Electrodo auxiliar.
E_1 E_2. Electrodos.
B. Tubo de descarga.

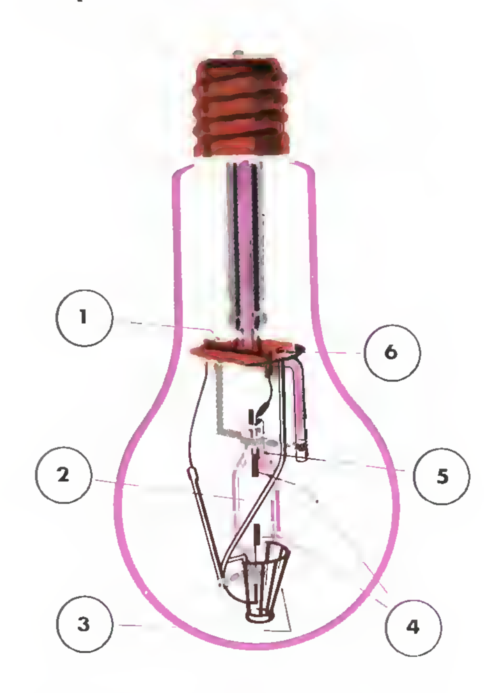
Las indicaciones generales dadas para las lámparas normales de alta presión son válidas para las de color corregido, referentes al período de encendido período de enfriamiento, eficacia luminosa, vida media, etc. Sus aplicaciones son las mismas aunque permitiendo una mejor percepción del color.

El color azul de la lámpara de mercurio es un serio inconveniente en numerosas aplicaciones. Uno de los medios de mejorarlo consiste en mezclarlo con el de una lámpara de incandescencia que, como sabemos, es incluso demasiado rojo comparado con el de la luz del día. Ello llevó a utilizar conjuntamente las dos lámparas, incluso empleando la de incandescencia como resistencia del electrodo de la de mercurio para estabilizar la descarga, en lugar de la autoinducción habitual. Las numerosas aplicaciones de esta combinación ha inducido a los fabricantes a reunir los dos sistemas en una misma ampolla, dando lugar a las *lámparas de luz mixta.*

La lámpara de luz mixta consiste en un pequeño tubo de descarga en vapor de mercurio a alta presión, montado en serie, con un filamento de incandescencia en el interior de una ampolla exterior común. Esta disposición permite, como queda dicho, hacer jugar al filamento un papel de estabilizador de la descarga, de forma que la lámpara puede conectarse directamente a la red de alimentación sin necesidad de aparatos auxiliares. Su vida media es de 2.000 horas. Debido a la favorable combinación descarga en mercurio-incandescencia, su factor de potencia es muy elevado y no necesita del condensador de compensación.

En seguida que se conectan a la red producen luz; al principio por el solo filamento de incandescencia y después de dos minutos conjuntamente por las dos fuentes. En estas lámparas debe esperarse que estén completamente frías antes de encenderlas de nuevo. Sus aplicaciones son las mismas que las de vapor de mercurio de color corregido.

Lámpara de luz mixta.



1. **Resistencia del electrodo auxiliar.**
2. **Tubo de descarga.**
3. **Filamento incandescente.**
4. **Electrodos principales.**
5. **Electrodo auxiliar.**
6. **Plaquita de sujeción.**

LAMPARAS FLUORESCENTES

La aplicación más desarrollada de las lámparas de descarga es sin duda alguna la de las lámparas fluorescentes. En efecto, la lámpara fluorescente es esencialmente una fuente de luz de descarga eléctrica, en que la luz se produce por la fluorescencia o *fosforescencia*, activada por la energía ultravioleta de un arco de mercurio.

El arco de vapor de mercurio emite en abundancia radiaciones ultravioletas, que no sólo son inútiles porque no intervienen en la visión, sino peligrosas para la vista, lo cual obliga a detenerlas por la envoltura de la lámpara.

En las lámparas fluorescentes estos rayos ultravioletas son absorbidos por una delgada capa de materias fluorescentes, depositadas sobre la pared interior de la lámpara, y transformados en radiaciones visibles, de modo que no sólo se impide toda acción nociva, sino que resulta aumentado el rendimiento lumínico del arco de mercurio establecido.

Para obtener un flujo importante de ultravioleta de longitud de onda, susceptible de excitar la fluorescencia, es necesario que en régimen normal la densidad de corriente y la presión del vapor de mercurio sean débiles.

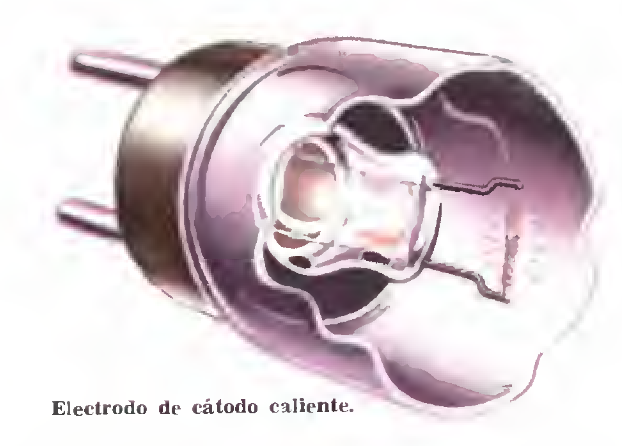
La lámpara consiste esencialmente en una ampolla tubular, que tiene soldados en sus extremos los electrodos y en el interior, vapor de mercurio a baja presion como soporte del arco con una pequeña cantidad de gas inerte (generalmente argón) para el arranque. Las paredes internas del tubo están revestidas con polvos fluorescentes.

Cuando se aplica la tensión conveniente o adecuada, su flujo de electrones desplazándose a gran velocidad es emitido por uno de los electrodos y atraído por el otro. Las colisiones entre estos electrones y los átomos de mercurio, que se encuentran en su camino, producen un estado de excitación cuyo resultado es la emisión de radiaciones, principalmente en la región ultravioleta del espectro. Los polvos fluorescentes transforman esta energía ultravioleta en luz visible.

La lámpara fluorescente se diferencia de la clásica de mercurio, principalmente en dos aspectos: actúa a una presión de vapor mucho más baja y está revestida de fósforo, que es activado solamente por la onda ultravioleta radiada por un arco de baja presión. En una lámpara fluorescente. el 90 % de luz se produce por fluorescencia. En una lámpara clásica de mercurio con ampolla fluorescente, la radiación directa del mercurio proporciona un 90 % de luz y la fluorescencia del fósforo depositado en su ampolla sólo el 10 % restante.

El electrodo generalmente utilizado en la mayor parte de lámparas fluorescentes es el de hilo de tungsteno doblemente espiralizado. El hilo espiralizado de tungsteno está recubierto de una materia emisiva (óxidos) que cuando se calienta desprende electrones. Se crea una zona caliente en el cátodo gracias a la cual se inicia la descarga, vaporizando el vapor de mercurio, cuyos átomos son bombardeados por los electrones emitidos por el filamento del cátodo. Un tal electrodo se denomina de *cátodo caliente*.

Los fósforos más empleados en lámparas fluorescentes son eficaces convertidores de la energía ultravioleta en luz visible, siendo compuestos estables que mantienen su emisión luminosa a un alto nivel a lo largo de la vida de la lámpara.



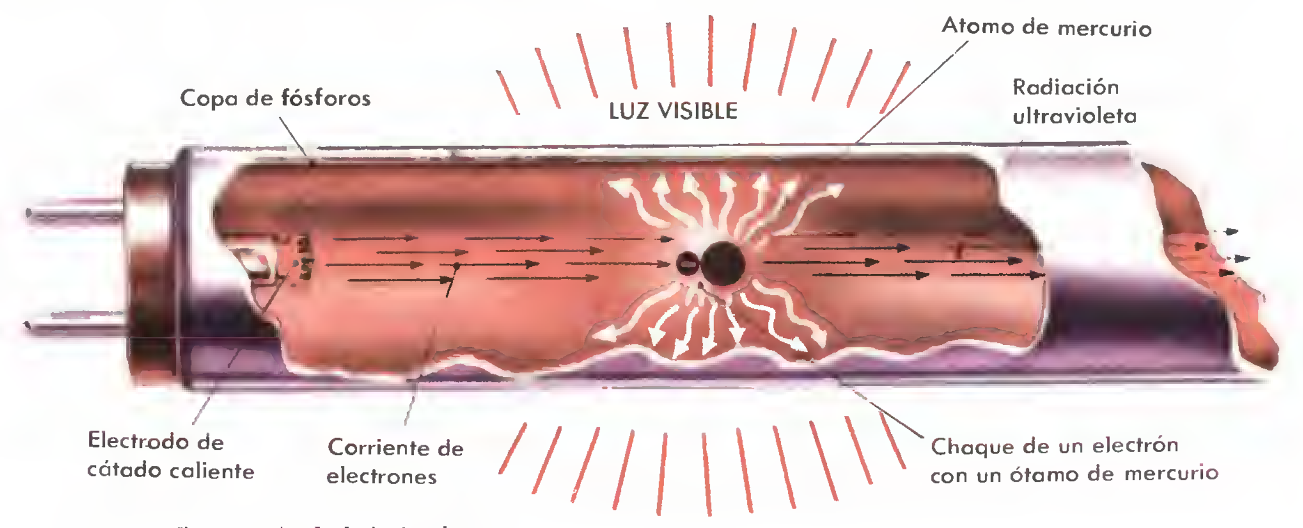
Electrodo de cátodo caliente.

El color de la luz emitida al exterior del tubo depende de la composición química de los fósforos empleados. Las lámparas verde, azul y rosa utilizan fósforos simples, mientras que las de color rojo y oro tienen un revestimiento coloreado, que se aplica a la superficie interna del tubo como complemento del fósforo. Los tipos de fósforos y el color que producen por fluorescencia son los siguientes:

Silicato de cinc	Verde
Tungsteno-calcio	Azul
Borato de cadmio	Rosa
Tungsteno-magnesio	Blanco azulado
Fosfato de calcio	Blanco

El color blanco se elabora en diferentes tonalidades variando la proporción de las sustancia fluorescentes, denominadas diferentemente por diversos fabricantes. En general, dichas tonalidades son:

Luz del día: Corresponde al tinte de la luz del cielo boreal. Las lámparas de este color se emplean principalmente donde existe la necesidad de identificar o comparar colores, y en los países cálidos se emplean para el alumbrado general.



Lampara fluorescente de baja tension.

EXPLICACION DE LOS DIAGRAMAS

Las diagramas muestran las distribuciones relativas de la energía espectral de las calores de luz de las lámparas fluarescentes. Constituyen tada una gradación del «blanca», que comprende desde los blancas azuladas hasta los rajizas. Las distintas calumnas y los tantas por cienta indicadas al pie de ellas praparcionan una idea de la composición de cada uno de los cinco colores de luz que pueden abtenerse narmalmente.

Tinte caliente normal	[illegible]	[illegible]	[illegible]	2,3	29,2	57,3	[illegible]	[illegible]	%
Blanco caliente de lujo	[illegible]	[illegible]	0,22	4,5	34,1	44,1	15,5	[illegible]	%
Blanco normal	[illegible]	0,33	0,33	5,1	35,7	49,6	8,8	0,21	%
Blanco de lujo	[illegible]	0,36	0,22	2,3	38,4	44,0	15,5	0,50	%
Luz del día	0,014	0,42	0,60	8,8	42,4	39,1	8,3	0.32	%

Longitudes de onda: 3800 · 4200 · 4400 · 4600 · 5100 · 5600 · 6100 · 6600 · 7600 Å



DISTRIBUCION ESPECTRAL DE LA LUZ EMITIDA POR LAS LAMPARAS FLUORESCENTES

Luz blanca: Tono intermedio entre la anterior y la luz de las lámparas de incandescencia. Pueden utilizarse conjuntamente con estas últimas sin que se produzcan sombras coloreadas. Se adopta corrientemente para el alumbrado de lugares de trabajo.

Blanco caliente: Tono blanco que se aproxima mucho al de las lámparas de incandescencia; es una tonalidad «acogedora», muy adecuada para viviendas, restaurantes, etc.

Las tres tonalidades se fabrican también en variantes («Alta eficacia», «Blanca fría de lujo», «Blanca cálida de lujo», «Blanca suave», etc.), que proporcionan una mejor respuesta de color, a costa de una ligera disminución del rendimiento luminoso, comparado con los tipos normales mencionados.

Las lámparas fluorescentes, de descarga en vapor de mercurio a baja presión, han adquirido gran popularidad en poco tiempo, en primer lugar, por ser sumamente económicas (larga vida y alto rendimiento luminoso); pero también, hasta ciehto punto, como consecuencia de ciertas propiedades inherentes a las mismas, que permiten conseguir una buena iluminación con destino a una gran variedad de aplicaciones.

Si comparamos estas lámparas con las de incandescencia, podemos decir que para un mismo flujo luminoso, la segunda tiene muchas más pérdidas calcríficas. La eficacia luminosa de las lámparas fluorescentes varía gradualmente durante su vida útil, pero existe un hecho muy característico en ellas: después de las primeras cien horas de funcionamiento el flujo luminoso disminuye en un 10 % y, en previsión de esta tuerte disminución, los fabricantes indican siempre como flujo luminoso de la lámpara fluorescente el medido después de dichas cien horas de servicio.

En general, puede decirse que después de 7.500 horas de funcionamiento el flujo luminoso es el 75 % del flujo inicial.

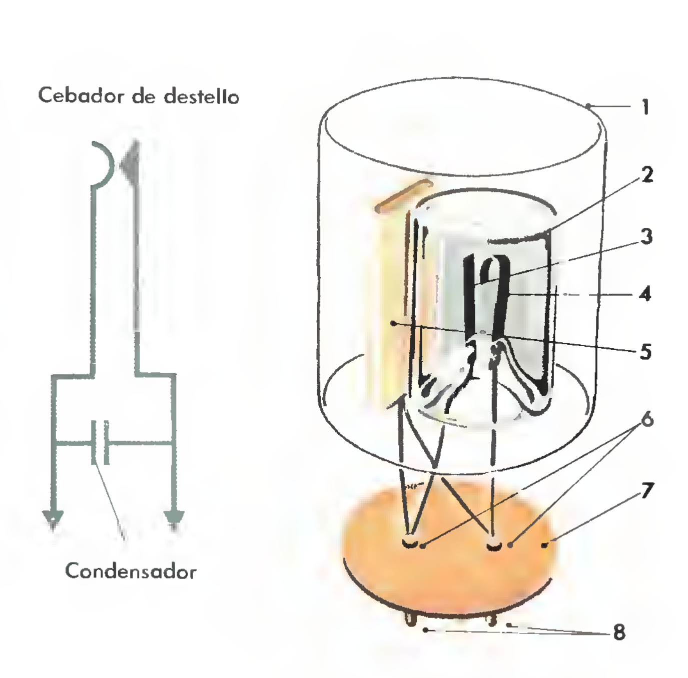
Otras diferencias sustanciales con la lámpara de incandescencia son: la temperatura ambiente influye la emisión luminosa de la lámpara fluorescente, y ésta necesita ciertos dispositivos auxiliares característicos de las lámparas de descarga.

Decimos que el flujo luminoso emitido por una lámpara fluorescente depende de la temperatura ambiente; en efecto, cuando dicha temperatura es de 20 ó 30° C el flujo luminoso es máximo y disminuye a temperaturas elevadas (más de 50° C), como ocurre también a bajas temperaturas (menos de 5° C).

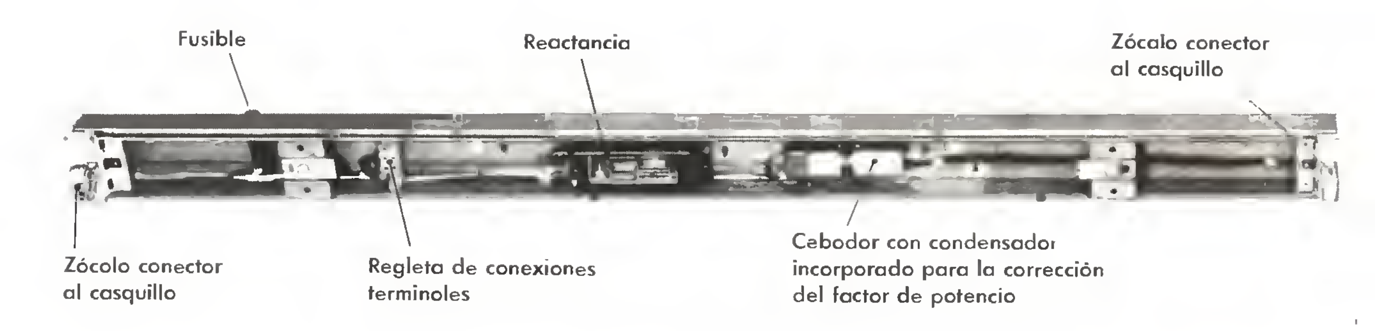
Como todas las lámparas de descarga eléctrica, las fluorescentes tienen forzosamente que funcionar en combinación con un elemento auxiliar, una resistencia de tipo inductivo o autoinductancia, generalmente llamada «reactancia», la cual limita la corriente y proporciona la tensión necesaria para el arranque. La reactancia consume alguna energía, que debe agregarse al consumo de la lámpara para tenerla en cuenta al dimensionar el conjunto del circuito eléctrico. Cada lámpara requiere una reactancia específicamente proyectada para sus características eléctricas, el tipo de circuito en que va a ser utilizada y la tensión y frecuencia de la red alimentadora.

Todas las lámparas fluorescentes están proyectadas para uno de los tres tipos generales de funcionamiento: precalentamiento, arranque rápido y arranque instantáneo.

Las lámparas de precalentamiento arrancan con un interruptor, que permite el paso de una corriente de calentamiento a través del electrodo que hay en cada extremo de la lámpara durante uno o dos segundos. Una lámpara de este tipo tarda siempre un poco en encenderse. La mayoría de instalaciones comportan como interruptor uno automático llamado «cebador» de tamaño muy reducido. El cebador puede ser de tipo térmico o de tipo de destello, siendo éste último el normalmente utilizado hoy día.



Arrancador (starter) del tipo cebador de destello. 1. Envoltura metálica de protección. - 2. Ampolla de vidrio. - 3. Electrodo fijo. - 4. Cinta bimetálica. - 5. Condensador. - 6. Conexiones a los contactos - 7. Placa aislante. - 8. Contactos.



Equipo de accesorios con portalámparas para tubo fluorescente.

El arrancador de destello consta de dos electrodos, uno de los cuales es una cinta bimetálica encerrada en una pequeña ampolla de vidrio, llena de gas inerte (neón o argón). Cuando se aplica la tensión, una pequeña corriente fluye a través del circuito como resultado de una descarga eléctrica entre los dos electrodos. El efecto calorífico de la corriente dilata el elemento bimetálico y establece contacto entre los dos electrodos. Este contacto interrumpe la descarga, pero permite el paso de la corriente para el calentamiento de los electrodos del tubo fluorescente durante un corto período de tiempo. Con el contacto cerrado, si no hay descarga, el gas del cebador se enfría y el elemento bimetálico se retrae, abre el contacto y produce, en conjunción con la reactancia, un impulso de alta tensión en los electrodos del tubo fluorescentes (de forma similar al impulso de alta tensión en las bujias de un motor de explosión). Después de establecer la descarga luminiscente en la lámpara, el cebador no actúa, a pesar de haber tensión en sus electrodos, ya que la corriente circula más fácilmente por la lámpara y el potencial eléctrico disponible no es suficiente para disparar el cebador.

El cebador está normalmente equipado, dentro de la misma cápsula, de un condensador para limitar las interferencias de radio.

En una lámpara de arranque rápido, el circuito de cebado difiere del de precalentamiento en que su tensión de calefacción es suministrada por un devanado especial de la reactancia y no comporta ningún interruptor automático o «starter» para abrir el circuito cuando el arco ha saltado. Por medio de dicho devanado circula una pequeña corriente de calentamiento por los electrodos, continuamente mientras la lámpara está en servicio. El arranque se efectúa en menos de un segundo. Para asegurar el arranque en cualquier circunstancia, toda lámpara de arranque rápido debe montarse muy cerca de una tira metálica (el mismo soporte o portalámparas) puesta a tierra y situada a todo la largo de la lámpara.

Las lámparas de arranque instantáneo arrancan directamente mediante la aplicación de una tensión suficientemente alta para que salte el arco sin necesidad de ningún calentamiento previo de los electrodos, de forma similar a los llamados tubos de neón de la publicidad luminosa. Por esta razón las lámparas de arranque instantáneo se llaman también de cátodo frío.

Finalmente, como variante contructiva en los tubos fluorescentes podemos señalar aquellos cuya superficie interior presentan sobre sus 2/3 un revestimiento metálico actuando de reflector para dirigir la luz hacia abajo; tienen las mismas dimensiones y características, y por tanto, pueden sustituir perfectamente a los normales.

La lámpara fluorescente descrita hasta aquí es la normalmente empleada en fines de alumbrado, en redes de alimentación a 125 ó 220 V; es decir, es una lámpara fluorescente de baja tensión.

TUBOS DE ALTA TENSION

Aparte de las lámparas de descarga gaseosa ya mencionadas existe una gran variedad de otros modelos para usos especiales, que van desde las lamparitas de neón para señalización hasta los tubos de descarga de alta tensión, impropiamente denominados *tubos neón*, de la publicidad luminosa.

Estos tubos de alta tensión pertenecen al grupo de las lámparas de descarga a baja presión, como las fluorescentes, y trabajan a tensiones alternas de 2.000, 6.000 y 8.000 V.

El color de la luz emitida depende esencialmente de la naturaleza del gas o vapor metálico de que están rellenas estas lámparas, así como de la coloración eventual del vidrio del tubo o de los polvos fluorescentes de que esté recubierto inte-

riormente. La eficacia luminosa de los tubos fluorescentes de alta tensión es bastante elevada; por tanto, no sólo se utilizan para fines publicitarios, sino también para el alumbrado de salas de exposición, restaurantes, almacenes y a veces incluso en fábricas y talleres.

Se distinguen los tubos desnudos (sin polvos, fluorescentes) y los fluorescentes; la eficacia luminosa y el número de combinaciones posibles de color son mayores en los segundos que en los primeros. En los dos tipos, la eficacia luminosa depende de la intensidad de corriente y del diámetro del tubo. En principio, para un mismo diámetro de tubo, si se dobla la intensidad de corriente prácticamente también se dobla el flujo luminoso; para una misma intensidad de corriente, el aumento de diámetro provoca una disminución del flujo luminoso, así como la tensión del arco y, por tanto, del consumo de energía eléctrica.

Existen en el comercio diferentes diámetros de tubo e intensidades de corriente normalizados, pero no todas las combinaciones de diámetro y de intensidades son posibles. Así, un tubo de 10 mm de diámetro, atravesado por una corriente de 100 mA, se calentaría rápida y excesivamente y se rompería con la sola caída de una gota de lluvia.

Los electrodos de los tubos de alta tensión están constituidos por espigas o cilindros metálicos, cuya superficie útil determina la intensidad de corriente a circular por el tubo. Estas lámparas también son de cátodo frío.

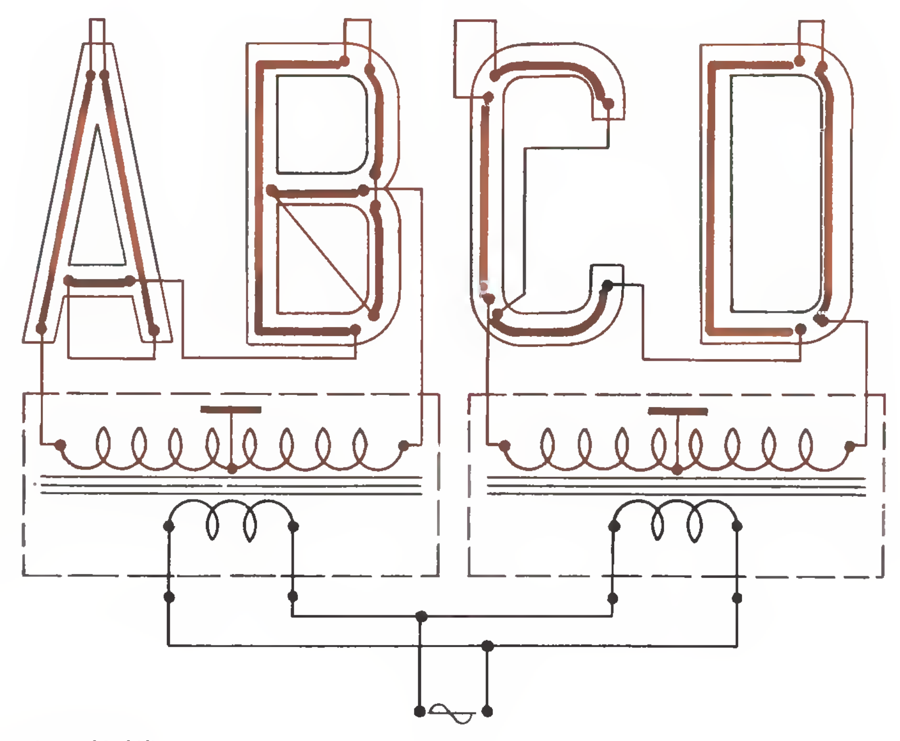
Algunas de las coloraciones posibles según los gases que se citan, en combinación con los polvos fluorescentes o la coloración del tubo, son:

Neon	Rojo
Helio	Rosa
Neón-helio	Rosa
Neón-helio	Ámbar
Neón-helio	Naranja
Argón	Azul
Vapor de mercurio	Blanco azulado
Argón-mercurio	Azul
Argón-mercurio	Blanco
Argón-mercurio	Verde
Argón-mercurio	Amarillo
Argón-mercurio	Oro
Xenón	Blanco
Anhídrido carbónico	Verde

En la mayoría de casos, la decoración con tubos de alta tensión se efectúa por piezas sueltas, sean rectilíneas o curvas, que se conectan en serie dentro de un mismo grupo.

Como en todos los casos de lámparas de descarga, estos tubos necesitan su correspondiente dispositivo auxiliar, consistente en un transformador de alta tensión, del tipo de dispersión. Su propiedad principal, además de elevar la tensión de la red a la necesaria para el tubo, es la de estabilizar y controlar la descarga, de forma que la tensión disminuye cuando la intensidad aumenta.

Independientemente de que los tubos de alta tensión permiten elegir entre quince o veinte co-



Montaje general de una instalación de tubos de alta tensión. Se ha supuesto que la longitud de los diferentes elementos es tal que aconseja conectar en serie los elementos de dos letras formando un grupo. Los dos grupos podrían estar conectados en paralelo sobre un mismo transformador, pero la práctica más bien aconseja emplear un transformador para cada grupo.

lores diferentes, una de sus ventajas es la de tener una larga duración (alrededor de 10.000 horas de vida media); se encienden inmediatamente sin cebador. Al contrario, su eficacia luminosa es menor que la de los tubos fluorescentes de baja tensión y necesitan una instalación de alimentación.

El flujo luminoso de los tubos de alta tensión puede variar entre 0 y 100 % con un simple transformador de regulación, lo cual es de gran interés para las salas de espectáculos, cuando los tubos fluorescentes normales de baja tensión necesitan para ello un relativamente complicado dispositivo con válvulas electrónicas tiratrones.

RECIENTES PROGRESOS EN LAMPARAS FLUORESCENTES

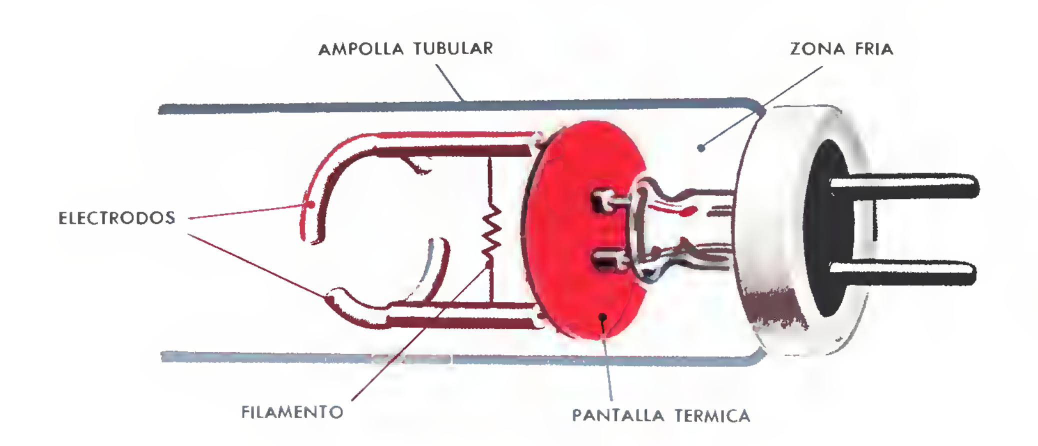
Los recientes perfeccionamientos en lámparas fluorescentes han sido principalmente originados por las tendencias modernas, que exigen niveles de iluminación cada vez más elevados, siendo conveniente por tanto producir focos de mayor potencia sin aumentar su tamaño, es decir, focos más concentrados.

Por este motivo los últimos perfeccionamientos en esta clase de lámparas han sido orientados a conseguir mayores potencias luminosas sin aumentar el tamaño ni disminuir el rendimiento, y así han aparecido las lámparas fluorescentes de elevada potencia.

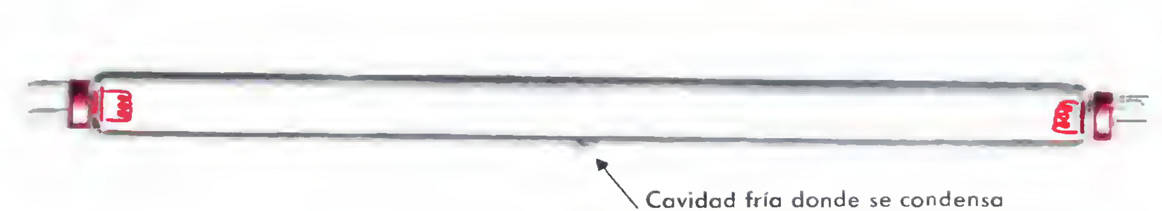
En las lámparas fluorescentes convencionales, la potencia en vatios y el flujo luminoso en lumen tienen valores limitados. También es limitado el brillo o luminancia de sus superficies. Para conseguir los elevados niveles de iluminación exigidos por las tendencias modernas, sin tener que aumentar demasiado el número y las dimensiones de las lámparas, es necesario producir lámparas más concentradas, capaces de emitir un flujo luminoso más elevado desde superficies reducidas.

Al forzar la intensidad de la descarga en un tubo fluorescente del tipo corriente (vapor de mercurio o baja presión), el rendimiento en lumen por vatio tiende a disminuir. Para obtener lámparas más potentes, los constructores han tenido que conjugar todos los factores que intervienen. Sus esfuerzos se han orientado en los últimos años hacia la producción de tubos de mayor potencia sin aumento de su longitud ni disminución del rendimiento. Los resultados obtenidos después de amplios estudios son las lámparas fluorescentes de elevada potencia, fluorescentes de doble flujo y fluorescentes de sección no circular.

El principio de funcionamiento de las lámparas de muy elevada potencia se basa en las siguientes consideraciones: para aumentar el flujo luminoso de un tubo fluorescente, sin aumentar su tamaño, es necesario forzar la intensidad de la descarga, lo cual produce un aumento de temperatura, que, a su vez, origina un aumento de la presión del vapor de mercurio y como consecuencia disminuye el rendimiento. Para poder aumentar la intensidad de la corriente, sin que el rendimiento disminuya, es necesario impedir que la presión del vapor aumente y esto se logra creando en la lámpara zonas más frías, mientras, que el resto adquiere una temperatura más elevada correspondiente a una mayor potencia. Las zonas frías están situadas entre los electrodos y los casquillos haciendo que las conexiones entre ambos sean más largas que en las lámparas normales. De este modo dejan una cavidad en cada extremo del tubo, protegiéndola térmicamente de



Disposición de los electrodos y filamento con la respectiva zona fría de una lámpara fluorescente de muy elevada potencia.



Lámpara fluorescente de doble flujo.

los electrodos y filamento mediante un disco deflector del calor.

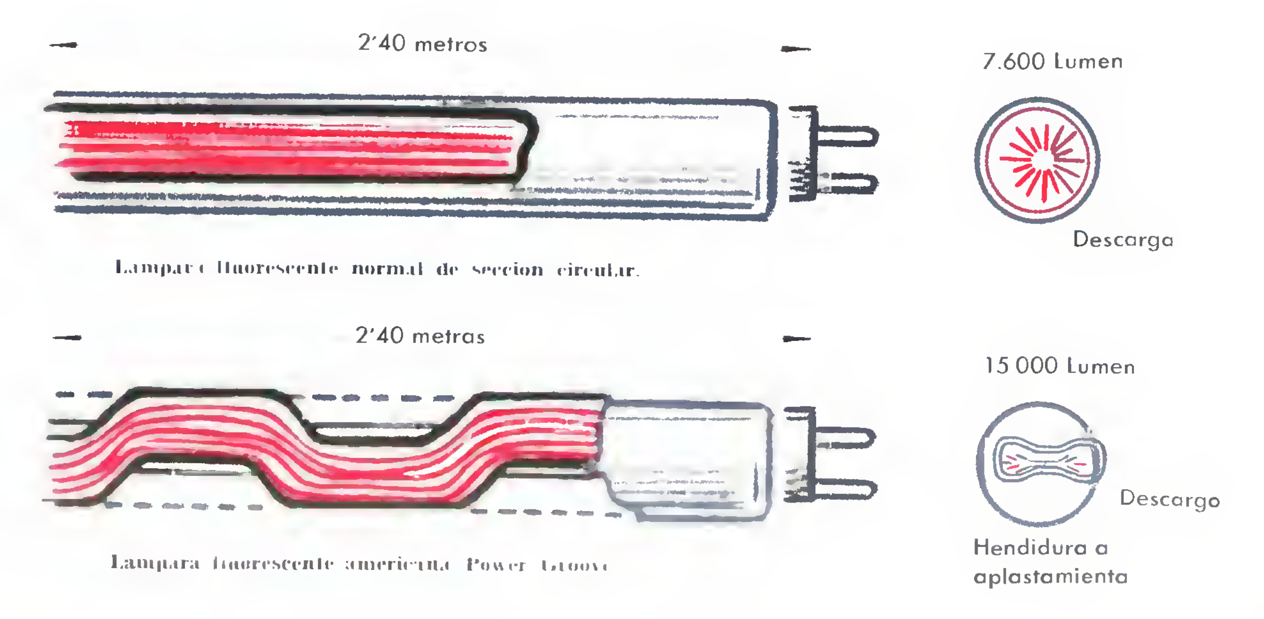
Las dos cavidades por estar muy frías recogen por condensación el exceso de mercurio que pudiera encontrarse vaporizado en el interior del tubo, por lo que de esta forma logra impedirse que la presión del vapor aumente, a pesar de que el tubo se halle a mayor temperatura. Las mencionadas cavidades permanecen oscuras, lo cual constituye un inconveniente, sobre todo si las lámparas se instalan directamente visibles, sin difusores superpuestos.

Estas lámparas se fabrican en las mismas dimensiones que los tubos corrientes. Así, el tubo de alta potencia de 100 W y 7.000 lumen tiene las mismas dimensiones que el normal de 40 W y 2.500 lumen, es decir, 1'2 metros de longitud por 38 mm de diámetro, dando casi tres veces más de luz.

Las lámparas de elevada potencia son de concepción americana; la concepción europea se ha dirigido hacia las lámparas de doble flujo. Por idénticos motivos, en esta lámpara se ha habilitado un punto o zona de menor temperatura, consistente en disponer una pequeña cavidad en la parte media de la lámpara y que a simple vista es apenas perceptible.

Supuesto el tubo en posición horizontal, esta cavidad se enfría por convección natural y recoge por condensación el exceso de mercurio vaporizado, disminuyendo la presión. Esta clase de tubos debe instalarse en buenas condiciones de ventilación a fin de que la cavidad permanezca a menor temperatura. También en este caso, el modelo de 100 W tiene las mismas dimensiones que el normal de 40 W.

Otro tipo de tubos fluorescentes de elevada potencia es el creado por una firma americana con la denominación de «Power Groove», cuyo principio de funcionamiento se funda en lo siguiente: si aumentamos la proporción entre el perímetro y el área de la sección del tubo podremos aumentar la potencia y, por tanto, el flujo luminoso sin que varíe el rendimiento. Para ello, dicha firma americana ha adoptado para estos tubos fluorescentes secciones no circulares, diferenciándose de los tubos corrientes, de sección circular, por unos aplastamientos o hendiduras en lados opuestos, en toda la longitud del tubo. Esta disposición obliga a la descarga a seguir una trayectoria ondulada y aproxima la descarga a las paredes del tubo, permitiendo con ello aumentar la potencia para una misma longitud entre casquillos.



Lámpara fluorescente normal de sección circular.

Lámpara fluorescente americana Power Groove

RECIENTES PROGRESOS EN LAMPARAS DE DESCARGA: LA ATMOSFERA DE XENON

Las lámparas de descarga en atmósfera de gas xenón unen a las clásicas características de las lámparas normales de descarga unas propiedades particulares, que las hacen utilísima en ciertas aplicaciones especiales.

Las lámparas de xenón han sido diseñadas con el fin de disponer de focos luminosos de muy elevada potencia en un volumen reducido, sin que adolezcan de los inconvenientes que presentan las lámparas de vapor de mercurio de alta presión y las de ampolla fluorescente, las cuales necesitan un tiempo considerable de encendido y también un tiempo elevado de enfriamiento antes de poder ser reencendidas

Las lámparas de xenón son los focos luminosos más potentes conseguidos hasta ahora, y la producción de luz en las mismas se origina directamente por la descarga eléctrica a través del gas xenón que llena la ampolla de la lámpara.

Todos los cuerpos sólidos, cuando se calientan a elevada temperatura, emiten radiaciones en forma continua y en todo el espectro visible. La descarga en los gases, en cambio, en condiciones normales, da lugar a una emisión de radiaciones de una determinada longitud de onda. No obstante, en algunos casos, como por ejemplo, en el caso de la descarga en vapor de mercurio, si se aumenta mucho la presión del vapor se mejora algo la distribución espectral de la luz emitida. Pero para obtener resultados verdaderamente satisfactorios sería necesario comprimir el vapor de tal forma que llegaría a ser verdaderamente imposible desde el punto de vista de la producción industrial y de su empleo en la práctica.

Tal resultado puede obtenerse, no obstante, con presiones y concentraciones de potencia no muy elevadas, empleando como atmósfera de descarga los gases neon, criptón y, muy particularmente, el gas *xenón*. El xenón, desde el punto de vista de la emisión luminosa, se comporta en forma muy parecida a la de los cuerpos sólidos.

El espectro de luz generada por la descarga de alta intensidad en el gas xenón corresponde al de la radiacion del cuerpo negro (recuerde que el cuerpo negro es el radiador normal o normalizado), por lo que la luz producida es muy blanca, es decir, muy semejante a la luz solar, de donde la calidad cromática de estas lámparas es excelente.

Deben distinguirse dos tipos preponderantes de lámparas xenón: la lámpara de arco corto para funcionamiento intermitente y luminancia elevada, con los electrodos alojados en una ampolla de cuarzo de forma esférica o elíptica, y la lámpara xenón de arco largo y luminancia media, con los electrodos situados en los dos extremos de un tubo estrecho y alargado, refrigerado por circulación de agua. En ambos tipos la presion del gas en régimen de funcionamiento normal alcanza un valor muy elevado que puede ser del orden de 24 atmósferas, mientras que la concentración de potencia sobrepasa 1.000 W por centimetro cúbico. En general, el rendimiento de estas lámparas es de 35 lm/W.

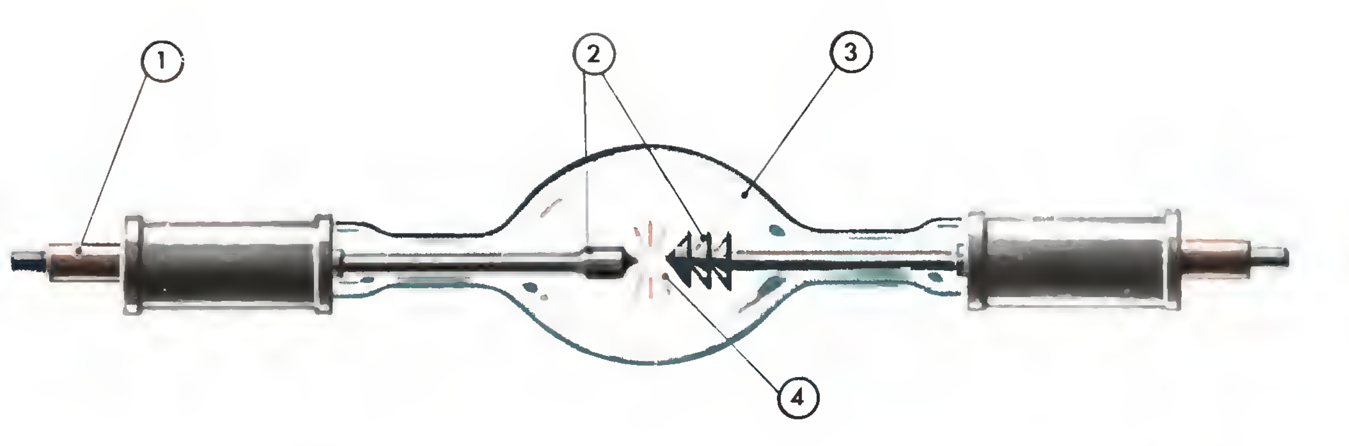
Las lámparas xenón de arco corto se construyen en potencias de 160 a 2.500 W. Estas lámparas son especialmente indicadas para su uso en proyectores muy concentradores, sustituyendo con ventaja los clásicos arcos de carbon. También tienen aplicación en aparatos cinematográficos de proyección, incluso para películas en color.

Las lámparas xenón de arco largo y alta presión se construyen para potencias más elevadas. Estas lámparas, generalmente de 6.000 W, están constituidas por dos tubos concéntricos por entre los cuales circula el agua de refrigeración. Estas lámparas tienen su principal aplicación en laboratorios para la comparación de colores, pues la luz que proporcionan, tal como antes se ha indicado, es de una gran calidad cromática y muy parecida a la luz solar. Se emplean asimismo en el alumbrado de escenarios, estudios de televisión y de grandes espacios públicos.

A pesar de su elevada potencia (miles de W) y de su elevado flujo luminoso (millones de lumen) estas lámparas tienen unas dimensiones muy reducidas (algunos milímetros de diámetro y centímetros de largo). Su concepción y desarrollo se deben al esfuerzo de investigación de una importante firma europea.

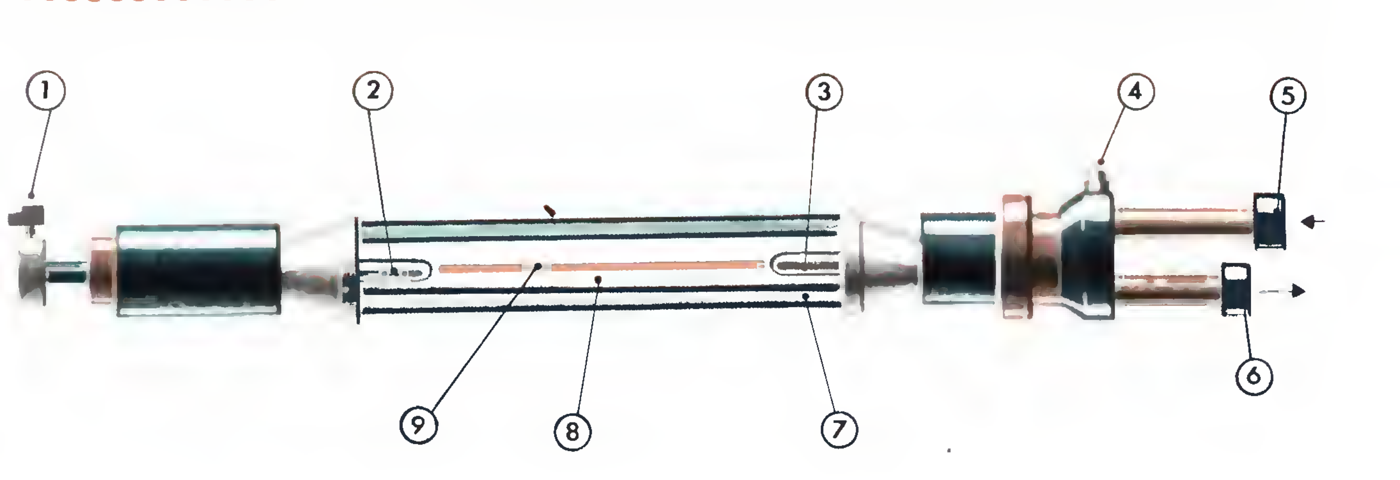
A pesar de las caracteristicas asombrosas de las lámparas de xenón de alta presión, el uso de las mismas es hoy día relativamente limitado, debido principalmente a su elevado precio, a necesitar un costoso equipo de alta tensión para su encendido y a la necesidad de una refrigeración por circulación de agua para las lámparas de arco largo, lo que cual siempre resulta complicado.

Recientes investigaciones por la misma firma europea han demostrado que la descarga eléctrica en el gas xenón puede asimismo realizarse a una presión relativamente baja, con un rendi-



Lámpara de arco corto de alta presión. Potencia de 1.600 W, flujo de 56.000 lumen, longitud del arco de 3 mm y diámetro, 5 cm.

1. Casquillo. - 2. Electrodo. - 3. Ampolla llena de gas xenón a alta presión. - 4. Descarga.



Lámpara de arco largo de alta presión enfriada por circulación de agua Potencia de 6.000 W, flujo de 215.000 lumen, longitud del arco de 110 mm, diámetro tubo exterior de refrigeración, 2'5 cm y longitud entre casquillos de 330 mm.

1 y 4. Conector casquillo. - 2 y 3. Electrodo. - 5. Entrada agua refrigeración. - 7. Tubo para circulación agua de refrigeración. - 8. Tubo de descarga.
9. Descarga.



Lampara de baja presión. Potencia de 65.000 W, flujo de 2.000.000 lumen. longitud total de 2'4 m y diámetro del tubo de 5'5 mm.

miento relativamente elevado y sin tener que recurrir a la refrigeración por agua. Han sido desarrollados diferentes modelos de 10.000 a 70.000 W lámparas que constituyen focos de muy elevada potencia, de las cuales ya se han realizado algunas aplicaciones en grandes y espectaculares iluminaciones públicas. Se han realizado instalaciones similares en Berlín y Roma, utilizando lámparas de 75 KW (75.000 W) a las que corresponde un flujo luminoso de 2.300.000 lm (dos millones trescientos mil lumen) por lámpara. Son cifras muy respetables.

* * * * *

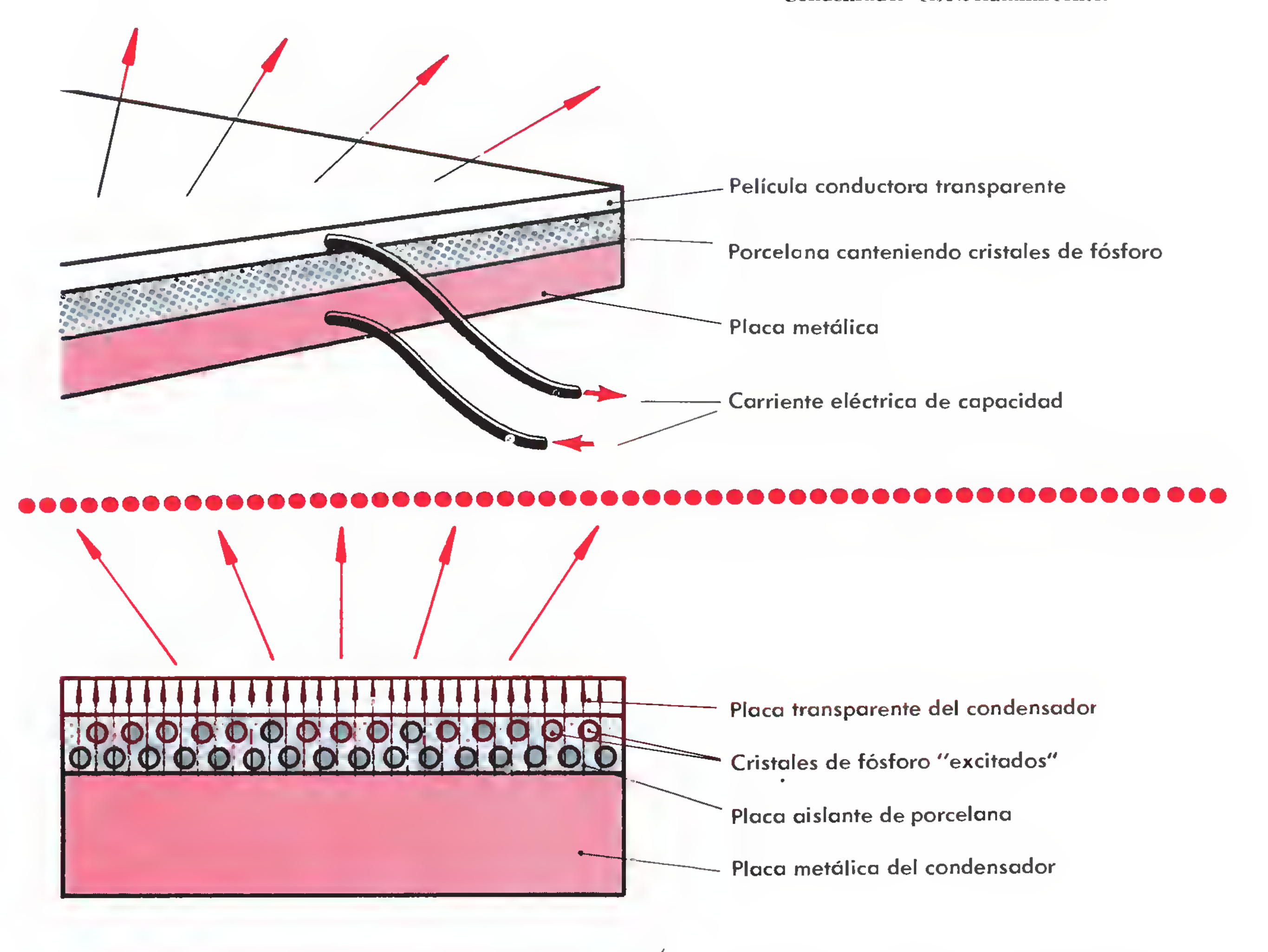
CONDENSADORES ELECTROLUMINISCENTES

A las dos grandes categorías de lámparas eléctricas, de las cuales hemos tratado extensamente incluyendo referencias de los últimos progresos técnicos en la materia, se ha agregado recientemente una nueva categoría: la de los CONDENSADORES ELECTROLUMINISCENTES, también denominados PANELES ELECTROLUMINISCENTES.

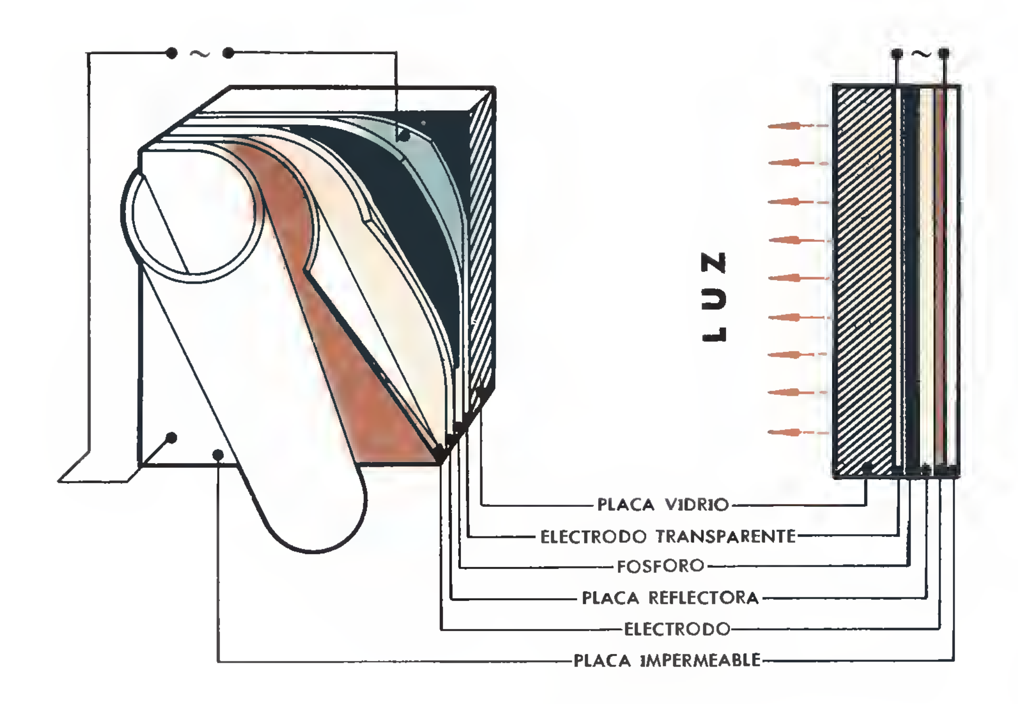
El alumbrado por ELECTROLUMINISCENCIA constituye uno de los descubrimientos más recientes para convertir *directamente* la energía eléctrica en energía luminosa. En su forma más corriente, los condensadores electroluminiscentes están constituidos por paneles delgados conteniendo polvos cristalinos fosforescente, intercalados entre dos superficies conductoras de electricidad, una de las cuales es translúcida.

La capa fosforescente emite luz cuando las dos superficies que forman el condensador están sometidas a un potencial alterno. La electroluminiscencia puede convertir la energía eléctrica en luz, con mayor rendimiento que cualquiera de las demás fuentes de luz, ya que no existen pasos intermedios que transformen la energía eléctrica en calor para producir la iluminación (lámparas de incandescencia) o que aprovechen la acción de la electricidad para ionizar gases (lámparas de descarga) que al excitar las sustancias fosforescentes los hagan emitir luz. No obstante, si bien el condensador electroluminiscente ha pasado ya a la producción industrial, de hecho es aún un producto de laboratorio y todavia queda por realizar un gran trabajo de desarrollo antes de que la electroluminiscencia realice con plenitud sus posibilidades.

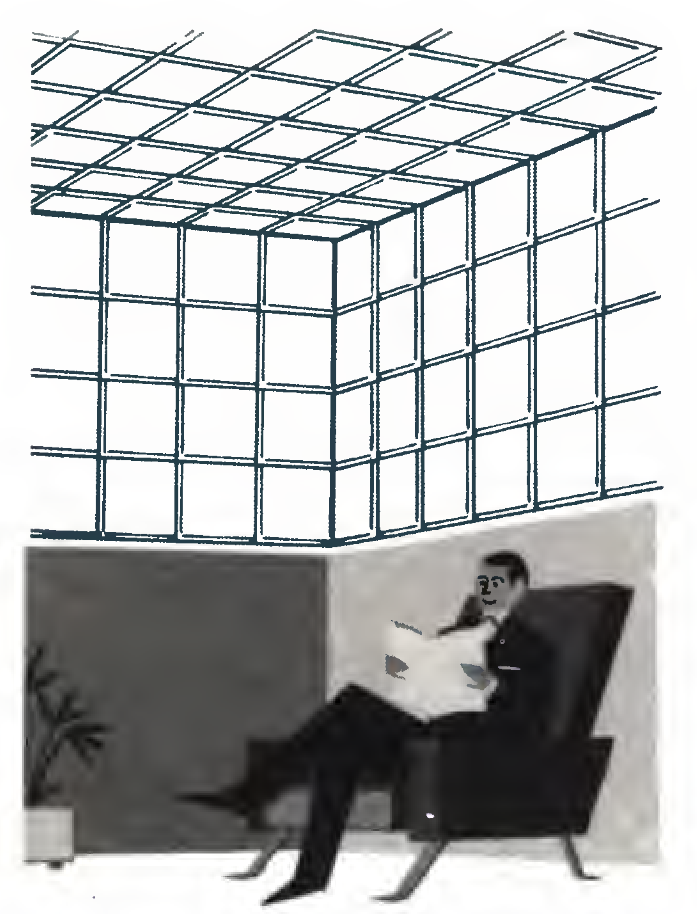
Condensador electroluminiscente.



Principio del condensador electroluminiscente.



Disposición práctica de un condensador electroluminiscente.



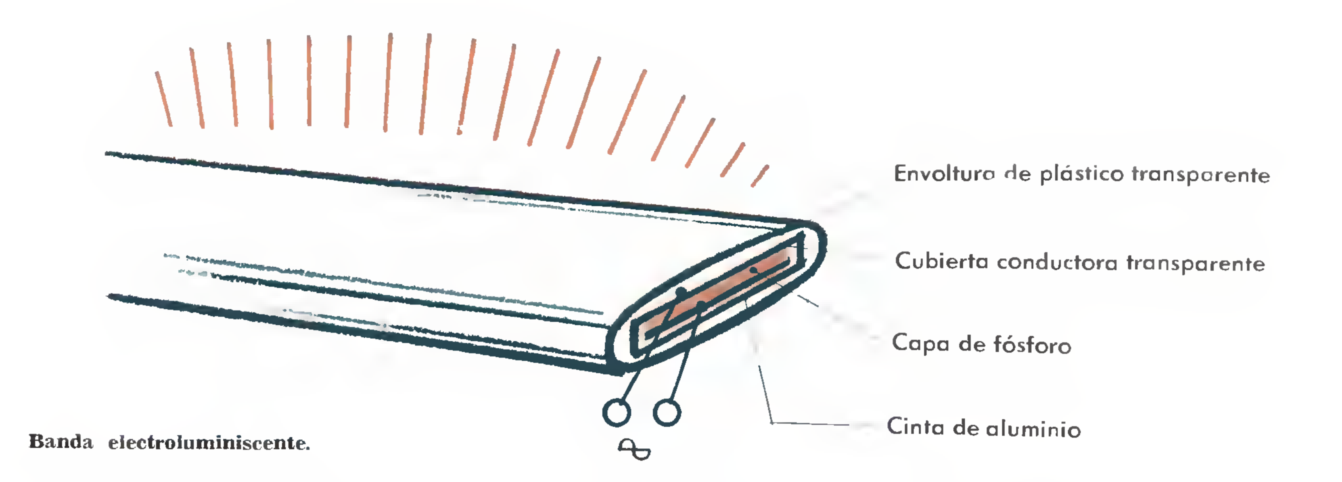
Recubrimiento paredes y techo a modo de baldosas luminosas. Los paneles electroluminiscentes, gracias a su débil luminancia, son capaces de bañar de luz un local dando un ambiente sedante y agradable.

El máximo rendimiento o eficacia luminosa del condensador electroluminiscente es de 100 lumen/WaH, aunque en su estado actual no llega a alcanzar el de los tubos fluorescentes (50 Lm/W). Su vida útil puede considerarse en 20.000 horas, al final de las cuales su flujo luminoso será de un 75 % del valor inicial.

Desde el punto de vista eléctrico, el condensador electroluminiscente se comporta como una carga capacitiva que es, y absorbe una corriente defasada con respecto a la tensión. Ello, aunque es un inconveniente, le permite un empleo ventajoso que consiste en la sustitución de los condensadores para corregir el factor de potencia de cualquier instalación que lo tenga bajo, todo y dándonos luz.

Otra ventaja de estas fuentes de luz se basa en su reducísimo espesor, permitiendo recubrir con ello grandes superficies (techos y paredes) a modo de baldosas luminosas.

Los paneles electroluminiscentes se instalan hoy día, principalmente, para fines decorativos y como luz complementaria en los cielos rasos y paredes. Posiblemente la propiedad más llamativa de la electroluminiscencia es su capacidad de bañar de luz un local; por esta razón, el alumbrado electroluminiscente hallará sin duda sus más amplias aplicaciones en oficinas, cafeterías, salones de entrada, etc., donde se desean crear ambientes sedantes y agradables.



Banda electroluminiscente.

Los condensadores electroluminiscentes son de concepción americana; últimamente, una firma de EE. UU. acaba de lanzar al mercado una nueva versión de este tipo de fuente luminosa: las BANDAS ELECTROLUMINISCENTES. Las bandas electroluminiscentes están constituidas por una cinta de aluminio en que se ha depositado una capa de fósforo, sobre la cual se aplica una cubierta conductora transparente; el conjunto se protege con una envoltura de plástico transparente.

Las bandas electroluminiscentes son de gran aplicación en arquitectura y construcción, publicidad, decoración interior, mercados y supermercados, control y ordenación del tráfico rodado, balizaje de las pistas de aterrizaje en aeródromos, balizaje de muelles, etc.

* * *

LUZ COHERENTE : EL LASER

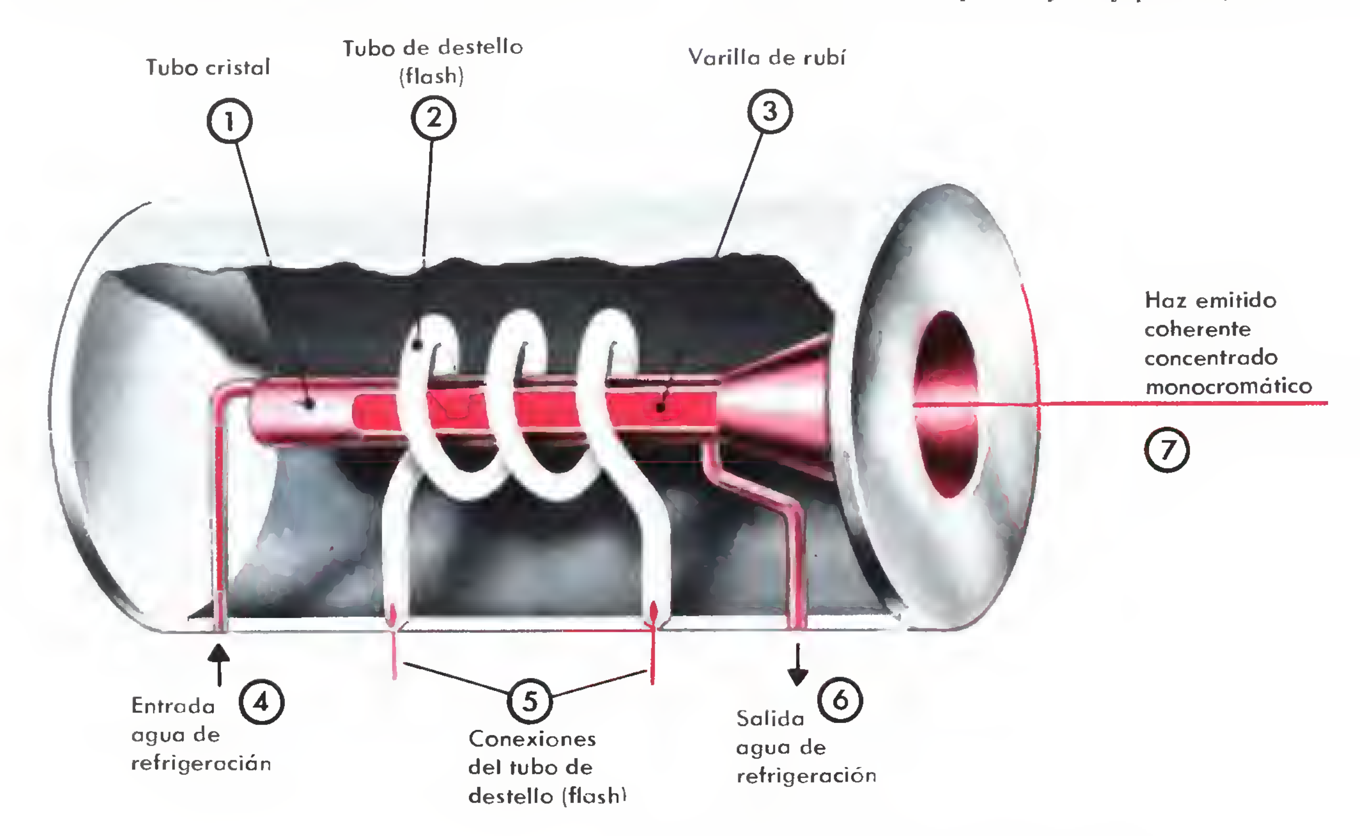
Para terminar la presente descripción de las modernas fuentes de luz nos referiremos brevemente a un reciente descubrimiento que podemos calificar de sensacional. No se trata de ningún dispositivo de aplicación luminotécnica inmediata, pero por tratarse de un nuevo sistema de producir luz hemos creído interesante mencionarlo.

En realidad, este invento reciente tiene antecedentes que datan ya de bastante tiempo aunque no ha tenido realización práctica hasta después de 1960. En efecto, en 1917, el físico Einstein dio a conocer su teoría sobre el efecto fotoeléctrico que le valió el Premio Nobel, y es sobre esta teoría que se basa el complicado principio de la *emisión estimulada de luz coherente*, que consiste en una emisión de una gama de radiaciones electromagnéticas, algo rebelde a la experimentación. Son las ondas que se encuentran entre el extremo infrarrojo del espectro visible y las ondas pertenecientes ya al dominio de la radio.

La luz emitida por una fuente luminosa normal, decimos que es incoherente porque está formada por un conjunto de ondas independientes, que se suman o se anulan al azar. La onda resultante de la mezcla de ondas elementales varía según un punto dado y según un momento considerado. Es algo parecido a lo que daría lugar el dejar caer sobre la superficie de un estanque un buen puñado de piedrecitas. Por el contrario, si dejamos caer una sola piedra se formará una onda pura y bien definida, es decir, una *onda coherente*.

Al dispositivo emitiendo un haz estimulado de *luz coherente* se le denomina LASER (abreviación de las palabras, en inglés, «Light Amplification of Stimulated Emission of Radiation»), que podemos definir como el dispositivo capaz de emitir un haz de luz monocromática, coherente, concentradísimo y de *enorme potencia* a distancias hasta ahora no soñadas. Lo realmente portentoso es la linealidad, la estrechez lograda en el haz emitido, lo cual hace que aquí cuadre mejor a la radiación la denominación de rayo; algo parecido, aunque para ondas electromagnéticas mucho más largas, se consiguió con la trascendental invención del radar.

La pieza fundamental del laser es una varilla cilíndrica de rubí sintético, la cual tiene un diámetro de 5 mm y unos 4 cm de longitud. Sus extremos son rectos, planos y muy pulidos, estando



Esquema de constitución del dispositivo Laser.

recubiertos por una capa de plata que en uno de los extremos es tan delgada como para que sea semitransparente. La varilla de rubí está rodeada por un tubo de destellos (flash), arrollado en hélice, el cual emite luz blanca, aunque la parte que se utiliza es su componente del verde. La varilla de rubí, al ser excitada por la luz del tubo de flash, emite por uno de sus extremos un haz muy estrecho de luz roja o infrarroja, que es el color propio de la fluorescencia del rubí.

Sin embargo, la luz roja emitida en estas condiciones por el aparato laser difiere de la luz roja normal de fluorescencia del rubi, en primer lugar porque la luz emitida es más rigurosamente monocromática. El haz luminoso es extremadamente estrecho y de tal intensidad que es claramente perceptible a 40 kilometros de distancia.

La concentración de un haz luminoso es el factor que determina el alcance de un proyector; cuanto más concentrado sea el haz, más pequeña será la superficie iluminada a una distancia determinada y mayor será la iluminacion producida en ella, o bien, en otras palabras, más larga será la distancia a que puede lograrse el mismo efecto; la imposibilidad de concentrar más un haz luminoso con ayuda de proyectores ha limitado la distancia a que puede ser transmitida la luz. Como hemos indicado, el laser ha superado esta limitación, y así, se ha logrado nada menos que enviar un haz luminoso hasta la Luna y recogerlo, después de reflejado en ella, en un telescopio.

Esta aptitud del laser le asigna un papel importante en comunicaciones a grandes distancias, e incluso interplanetarias, de transmitir energía de haz concentrado también a grandes distancias. Esta propiedad y la de su enorme poder de concentración (dentro de la pequeña abertura del haz, se calcula que el brillo o luminancia del laser es un millón de veces mas elevado que el del Sol) hacen que se proyecte ya, desgraciadamente, hacer uso del laser para emitir un «rayo de la muerte», que hasta ahora era una fantasía popular, alimentada por las novelas de ficcion.

Lo que sí es cierto es que un haz laser, enfocado sobre una superficie muy pequeña, produce una concentración de potencia tal que permite lograr sobre dicha superficie temperaturas elevadísimas, a las cuales el carbono se evapora. Por este procedimiento se ha logrado nada menos que practicar un delgadísimo orificio en un diamante, simplemente por volatilizacion del mismo, que es uno de los cuerpos más refractarios, lo que nos hubiera parecido fantástica pretension pocos años atrás. Y, afortunadamente, añadamos para terminar que hasta la cirugia lo ha aplicado con gran éxito; el haz de radiacion, convertido aquí en finísimo bisturí, se ha utilizado para delicadas operaciones de retina.

* * *

ELECTRICIDAD

Sistemas y metodos de alumbrado

Distribución de los aparatos de alumbrado

Proyecto de iluminación interior

Alumbrado público



LECCION Nº 28



INTRODUCCION

Cumplida ya la parte que podríamos llamar teórica, vamos a iniciar los fundamentos de todo proyecto de alumbrado propiamente dicho.

Al enfrentarnos con el proyecto de iluminación nos hallamos en presencia de dos puntos fundamentales: ¿Qué hay que iluminar? ¿Cómo vamos a iluminarlo?

A la primera pregunta responden los datos previos que hemos de conocer al iniciar el proyecto, y que nos indican las características geométricas de la superficie o recinto a iluminar y las características lumínicas de los materiales que lo constituyen, así como el tipo de actividad a desarrollar en él.

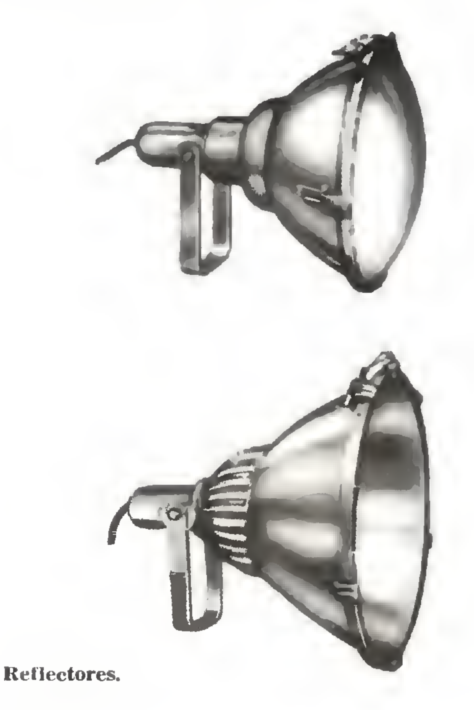
A la segunda pregunta ha de contestar necesariamente el conocedor de la luminotecnia, eligiendo el sistema de alumbrado que considere más adecuado para satisfacer las necesidades que tiene planteadas; es decir, eligiendo los tipos de iluminación, armaduras y fuentes de luz que estime más apropiadas en cada caso. Para realizar esta elección ha de poner en juego sus conocimientos de la técnica de iluminación, su experiencia personal y su sentido estético. En la fase auténticamente creadora del proyecto el autor ha de poner su propia personalidad a contribución de la realización que trata de concebir.

Se está vislumbrando una era más imaginativa y técnica en el arte de la iluminación que responde a un doble deseo largamente esperado: el del particular que quiere beneficiarse de un alumbrado de calidad y el de los profesionales de la luminotecnia que quieren manejar todos los sistemas, dispositivos y métodos que puedan satisfacer óptimamente las necesidades de sus clientes, cada vez más exigentes. La empresa que hoy en día realice un programa de expansión o modernización sin consultar a un técnico en alumbrado corre el riesgo, durante las primeras etapas del planteamiento, de pasar por alto las necesidades o consideraciones de orden fisiológico de las personas afectadas.

En la actualidad, y en todo momento, se exige a los técnicos de alumbrado que tomen en consideración los efectos psicológicos y fisiológicos provocados por la luz y el color en el personal y en la productividad de un taller, comercio, etc. La tendencia actual, muy marcada, es la de adoptar mayores intensidades luminosas, pero *debidamente reguladas;* se insiste en que se preste gran atención a las combinaciones cromáticas de los interiores y se solicita que se dé una importancia cada día mayor a la luz y color como elementos intrínsecos de todo proyecto arquitectónico.

Para lograr tales objetivos, el técnico de alumbrado debe analizar por separado cada instalación, dedicando cuidadoso empeño tanto al *ambiente* como a la función específica cumplida en el recinto de que se trata, ya sea una habitación, un salón, una cafetería, un comercio, una fábrica, un laboratorio o un despacho u oficina. Tal análisis le conducirá a la elección de un tipo u otro de fuente luminosa y a un tipo u otro de armadura que repartan la luz emitida según una técnica preconcebida. Asimismo, en cada lugar del local tendrá en cuenta la iluminación directa procedente del aparato de alumbrado o de la fuente de luz y la iluminación indirecta debida a la luz reflejada por las paredes, techos, etc.

Las armaduras o aparatos de alumbrado se utilizan para distribuir en la forma deseada la luz emitida por las lámparas, para reducir las elevadas luminancias de éstas y para embellecer el aspecto de la instalación. Entre los aparatos de alumbrado podemos citar los reflectores, los difusores, los refractores, las luminarias, las pantallas, las placas luminosas, las cornisas, etc. Su acción se basa en las leyes de la reflexión, de la transmisión o de la refracción de la luz.



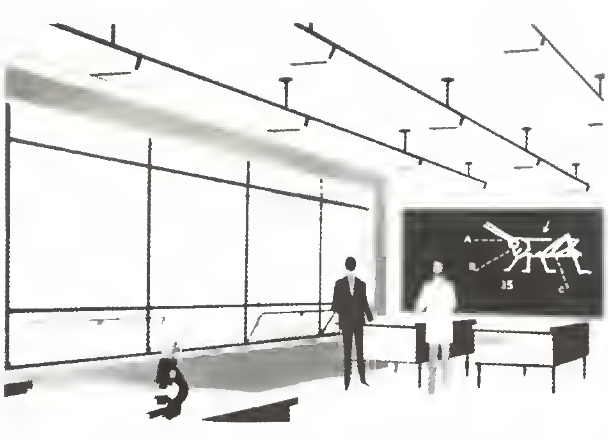
Reflectores.



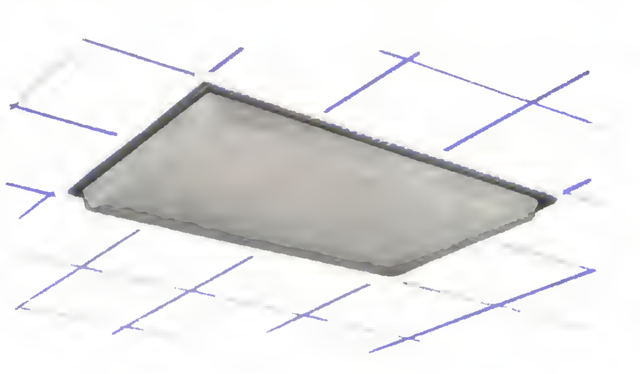
Difusor.



Pantallas.



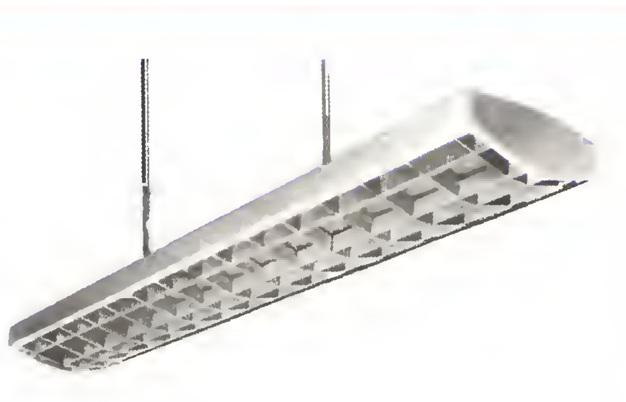
Alumbrado de una escuela con pantallas difusoras.



Placa luminosa.



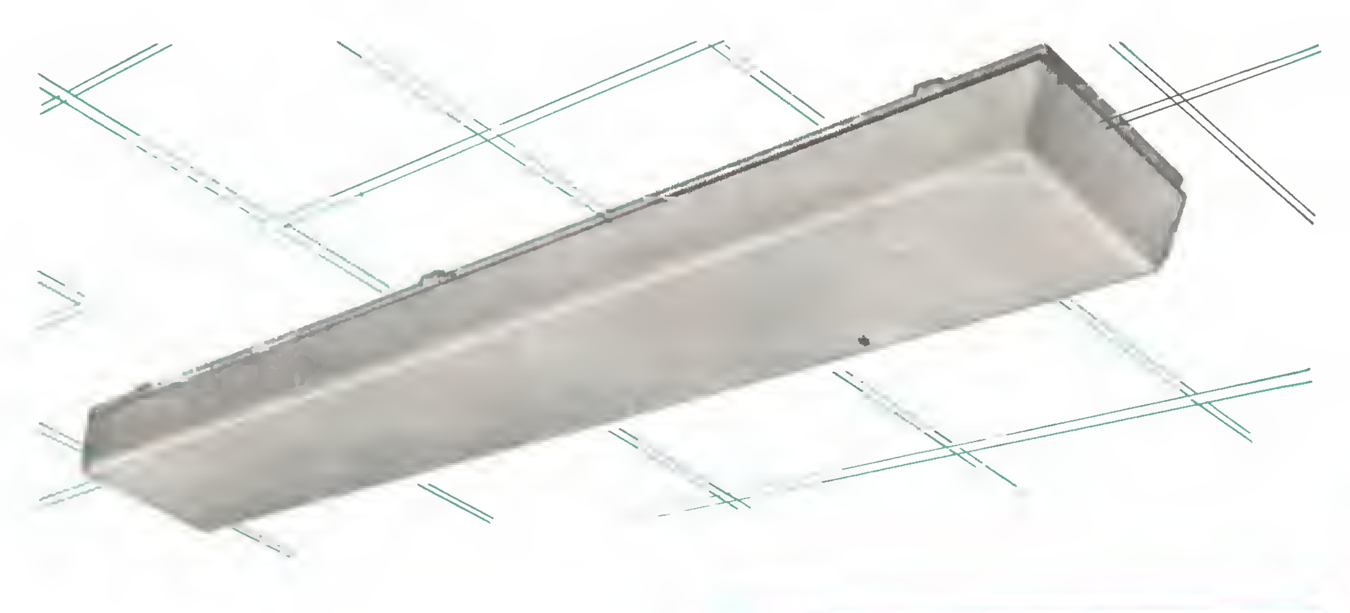
Alumbrado de una oficina con placas y pantallas luminosas.



Pantalla difusora.



Alumbrado de una oficina con pantallas difusoras.



Pantalla refractora.



Luminaria.

REFLEXION, TRANSMISION Y ABSORCION DE LA LUZ

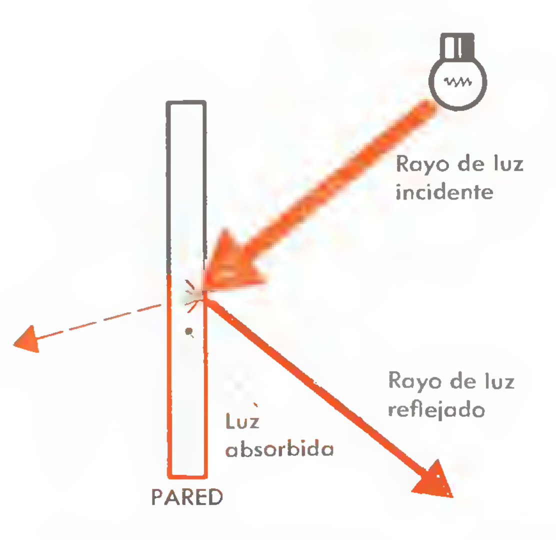
Cuando se ilumina una superficie (suelo, pared, mesa, pantalla reflectora de un aparato de alumbrado, etc.), una parte del flujo luminoso que incide en ella se refleja en una dirección dada y finalmente excita nuestra retina; otra parte queda absorbida por la materia de que está constituido el cuerpo de la superficie. En cuerpos que no sean opacos, —es decir, transparentes y translúcidos— el flujo luminoso es en parte reflejado y en parte absorbido; una cierta cantidad logra atravesarlos y, finalmente, logra transmitirse por el medio ambiente exterior a la superficie opuesta de transmisión.

Se denomina COEFICIENTE DE REFLEXIÓN (r) a la relación entre el flujo luminoso reflejado y el incidente:

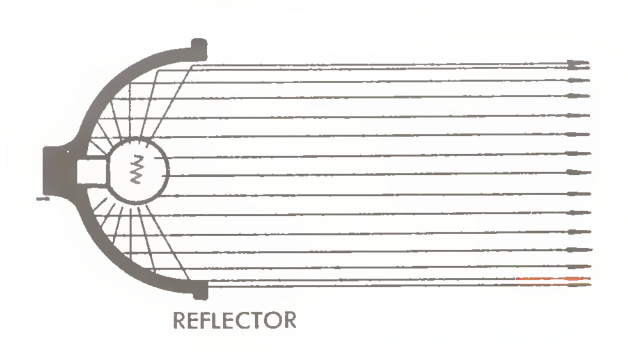
$$r = \frac{\Phi \text{ reflejado}}{\Phi \text{ incidente}}$$

La relación entre la cantidad de luz transmitida por las sustancias transparentes o translúcidas y la cantidad de la luz que incide se denomina COEFICIENTE DE TRANSMISIÓN (t):

$$t = \frac{\Phi \text{ transmitido}}{\Phi \text{ incidente}}$$



CUERPO OPACO



Prácticamente la luz no atraviesa el cuerpo, pero, en cambio, es absorbida o reflejada según que su superficie sea brillante o no.



CUERPO TRASLUCIDO

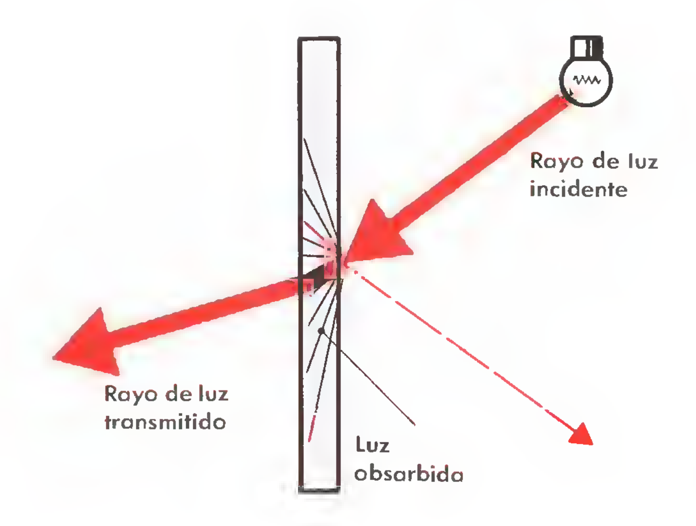


La luz incidente es en parte reflejada, en parte absorbida y en parte atraviesa el cuerpo. La proporción de flujo de cada caso varía según el espesor, el material y la superficie del cuerpo.

CUERPO TRANSPARENTE



CRISTAL VENTANA



La luz incidente atraviesa en gran proporción el cuerpo: una pequeña cantidad es absorbida y prácticamente no se refleja sobre su superficie.

Asimismo, se denomina COEFICIENTE DE ABSORCIÓN (a) a la relación entre la cantidad de luz que no ha sido reflejada ni transmitida y la incidente:

$$a = \frac{\Phi \text{ absorbida}}{\Phi \text{ incidente}}$$

Todo el flujo luminoso que incide sobre la superficie de un cuerpo se halla afectado por alguna o varias de las tres cualidades descritas de la superficie y del cuerpo. Así, pues, en un cuerpo transparente la luz que incide en su superficie penetra en dicho cuerpo, el cual absorbe parte del flujo luminoso; el resto lo atraviesa por entero y se transmite por el lado opuesto óptico al de incidencia, de donde:

Cuerpo transparente ... $a + t = 1$

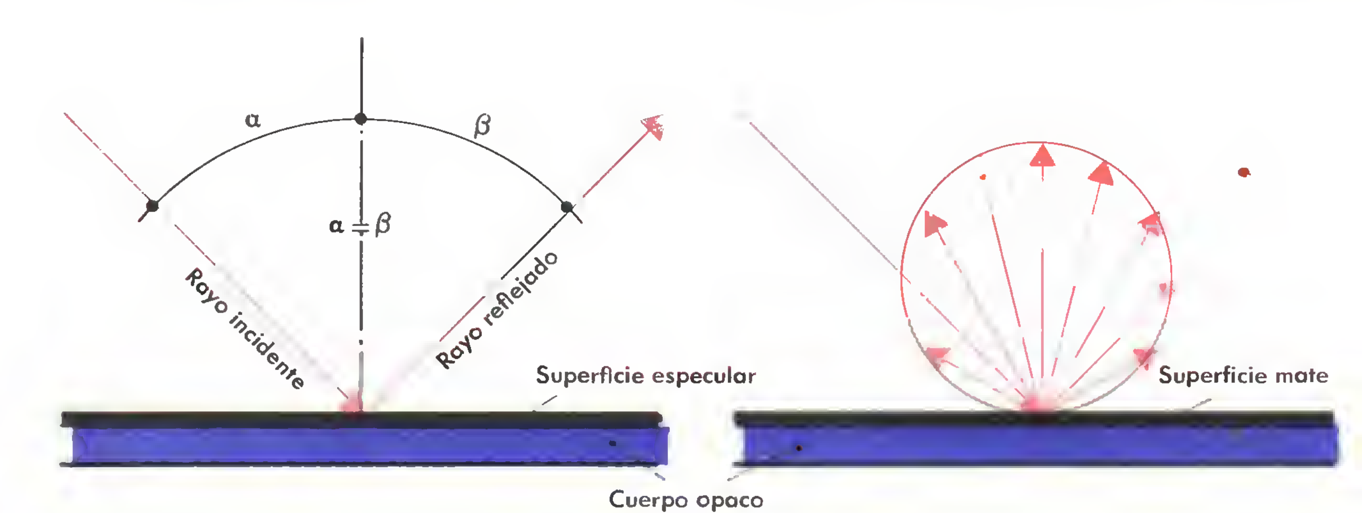
En un cuerpo opaco, una parte de la totalidad del flujo luminoso incidente es absorbida por dicho cuerpo; el flujo restante está rechazado (reflejado) en una dirección dada, sin que haya penetrado en aquél:

Cuerpo opaco ... $r + a = 1$

En un cuerpo translúcido una parte del flujo luminoso que incide en su superficie es reflejada en la superficie misma sin penetrar en el cuerpo; otra parte penetra y es absorbida por la masa del cuerpo, y el flujo restante logra atravesarlo y se transmite al exterior del mismo:

Cuerpo translúcido ... $r + t + a = 1$

Merece especial mención un caso particular de la reflexión, por utilizarse mucho en ciertos aparatos de alumbrado: la REFLEXIÓN DIFUSA, que se utiliza en los *difusores*. La reflexión difusa tie-



REFLEXION DIRECTA de la luz incidente sobre la superficie especular de un cuerpo opaco.

REFLEXION DIFUSA de la luz incidente sobre la superficie mate de un cuerpo opaco o translúcido. El rayo incidente se descompone en múltiples rayos de intensidad luminosa y ángulo de reflexión que se relacionan por la ley de los cosenos.

ne lugar cuando la superficie no es pulimentada, sino que está formada por gran número de diminutas asperezas, muchas veces invisibles para el ojo humano (superficies mates).

En la reflexión difusa el rayo que incide en la superficie mate de un cuerpo se descompone en múltiples rayos reflejados, de intensidad luminosa y ángulo de transmisión que se relacionan, en el mejor de los casos, por la ley de los cosenos o de Lambert que ya conocemos.

Muchas superficies mates no ofrecen ni una difusión perfecta ni una reflexión directa del flujo luminoso, sino mejor una difusión irregular que no sigue la ley de los cosenos. En este caso se habla de *reflexión mixta.*

La tabla I del Apéndice 3.º, Ficha Técnica 25, da los valores más corrientes de los coeficientes de reflexión, absorción y transmisión de los materiales más utilizados en los aparatos de iluminación, con indicación de su cualidad de difusión.

En todo proyecto de alumbrado de interiores deben tenerse en cuenta los coeficientes de reflexión del techo y de las paredes, los cuales se indican en la tabla II del mismo Apéndice 3.º, Ficha Técnica 26.

* * *

APARATOS, SISTEMAS Y METODOS DE ALUMBRADO

Una de las reglas fundamentales de la luminotecnia, que conviene no olvidar nunca, es la de que una lámpara nunca debe utilizarse desnuda. Una lámpara es un dispositivo para iluminar; no para ser visto. Cuando una fuente de luz no disimulada está situada en el campo visual, molesta o deslumbra; es perjudicial y estorba la visión de los objetos iluminados colocados en su proximidad.

Nunca se está demasiado iluminado, pero muy a menudo se está mal alumbrado. Las fuentes de luz deben estar colocadas siempre en aparatos o armaduras destinadas a disimular la luz directa y a controlarla de modo que así ilumine mejor los objetos.

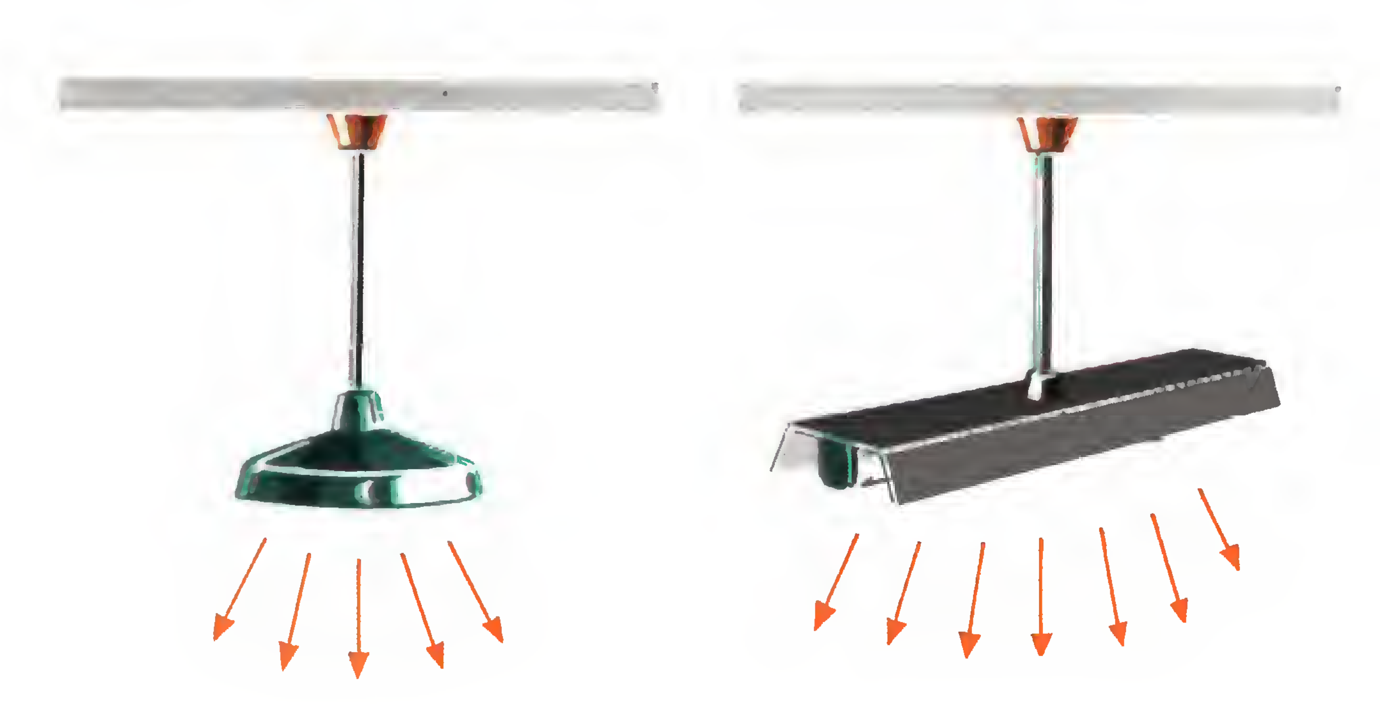
En tanto sea posible se aprovechará hasta lo máximo el mejor de todos los sistemas de alumbrado: el de la iluminación natural, utilizando la cualidad de transmisión a través del cristal y del vidrio. En su defecto se utilizará el alumbrado artificial, actuando especialmente por difusión o por reflexión o combinando los dos procedimientos. De este modo es fácil regular la luz emitida por una o varias lámparas y obtener su distribución juiciosa por alguno de los SISTEMAS DE ALUMBRADO que se describen a continuación.

Los diferentes sistemas de alumbrado se clasifican según la distribución del flujo luminoso emitido por los aparatos de luz. Esta clasificación tiene en cuenta el reparto del flujo luminoso dirigido por debajo y por encima del plano horizontal.

ILUMINACION DIRECTA

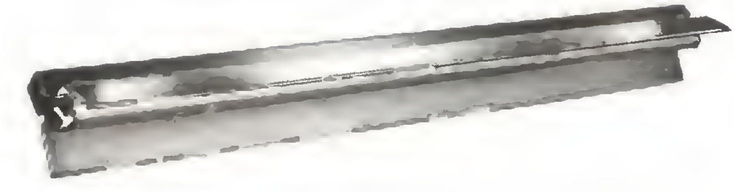
La mayor parte del flujo luminoso se dirige directamente hacia abajo, sobre la superficie a iluminar. Este sistema es el más eficaz o de más elevado rendimiento lumínico, ya que *teóricamente* no existe absorción de luz en el techo y muy poca en las paredes. Los aparatos de alumbrado a utilizar están constituidos por una superficie reflectora, situada sobre la fuente de luz, que dirige hacia abajo el flujo luminoso.

La iluminación directa produce sombras duras, muy marcadas, y siempre da lugar a un fuerte deslumbramiento.



En el sistema de iluminación directa el 100 % del flujo luminoso se dirige hacia abajo.





Armadura reflectora para tubo fluorescente para iluminación directa.

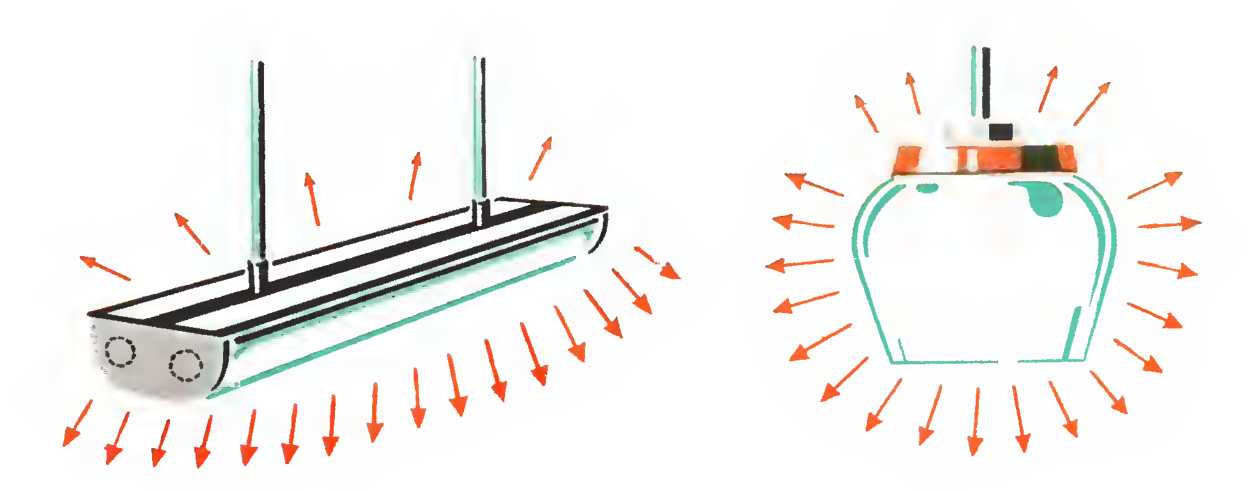


Reflectores para iluminación directa.

ILUMINACION SEMIDIRECTA

La mayor parte del flujo luminoso (del 60 a 90 %) se dirige hacia abajo. El nivel de iluminación sobre el plano de trabajo que proporciona este sistema es resultado de la luz que proviene directamente de la luminaria. La porción de flujo luminoso dirigido hacia el techo (del 10 al 40 %) disminuye el contraste de brillos, con lo cual las sombras son menos duras y el deslumbramiento no es marcado como en la iluminación directa.

Las instalaciones más corrientes de este sistema se caracterizan por las armaduras fluorescentes con protector cilíndrico de vidrio o las pantallas abiertas de vidrio para lámparas incandescentes.



En la iluminación semidirecta la mayor parte del flujo luminoso es dirigido hacia abajo.





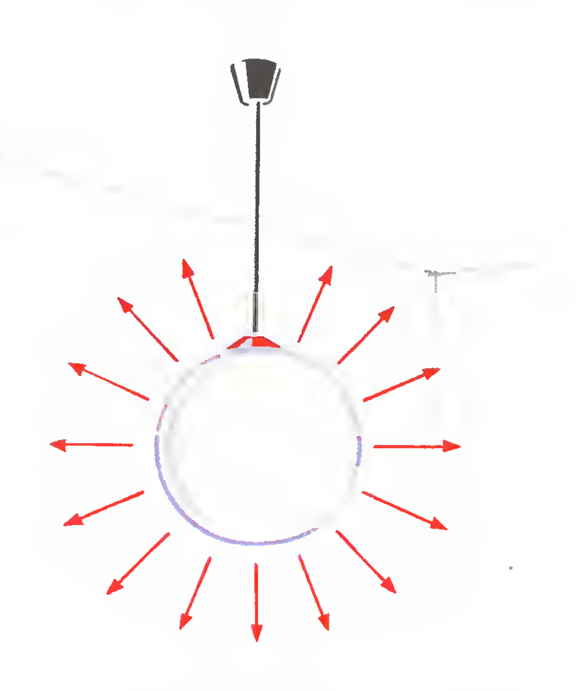
Armaduras para lámparas fluorescentes para iluminación semidirecta.

Lampara decorativa en incandescencia para alumbrado semidirecto.

ILUMINACION DIFUSA

En este sistema de alumbrado aproximadamente la mitad del flujo luminoso (del 40 al 60 %) se dirige hacia abajo. El nivel de iluminación sobre el plano de trabajo es en su mayor parte de la luz que procede directamente de la luminaria. Hay, empero, una cantidad importante (del 60 al 40 %) que se dirige hacia el techo y las paredes, en los que se refleja y *difunde* por todas partes en las proximidades del aparato de alumbrado. Ello permite eliminar las sombras, reducir mucho el deslumbramiento y obtener un efecto agradable a la vista por estar todo iluminado.

La iluminación difusa se distingue por el globo envolvente que distribuye la luz casi uniformemente, en todas las direcciones. Su inconveniente, en algunos casos, es el de que al no producir sombras los objetos aparecen sin la sensación plástica que denominamos relieve.



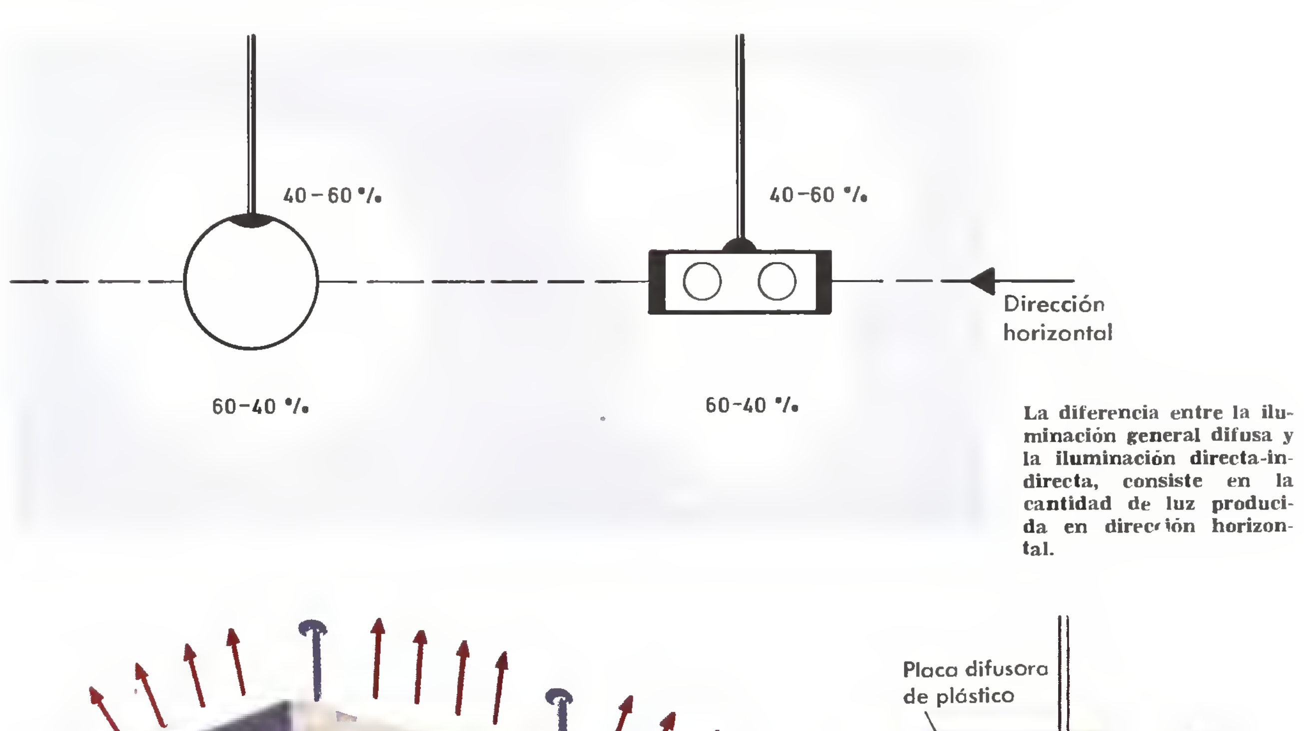
En la iluminación difusa, el flujo luminoso se distribuye casi uniformemente en todas las direcciones.



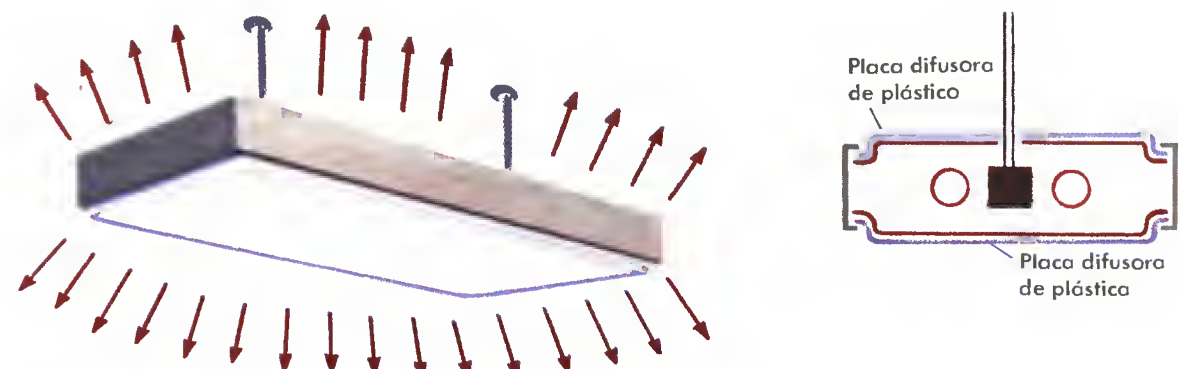
Difusor industrial para lámpara incandescente.

ILUMINACION DIRECTA-INDIRECTA

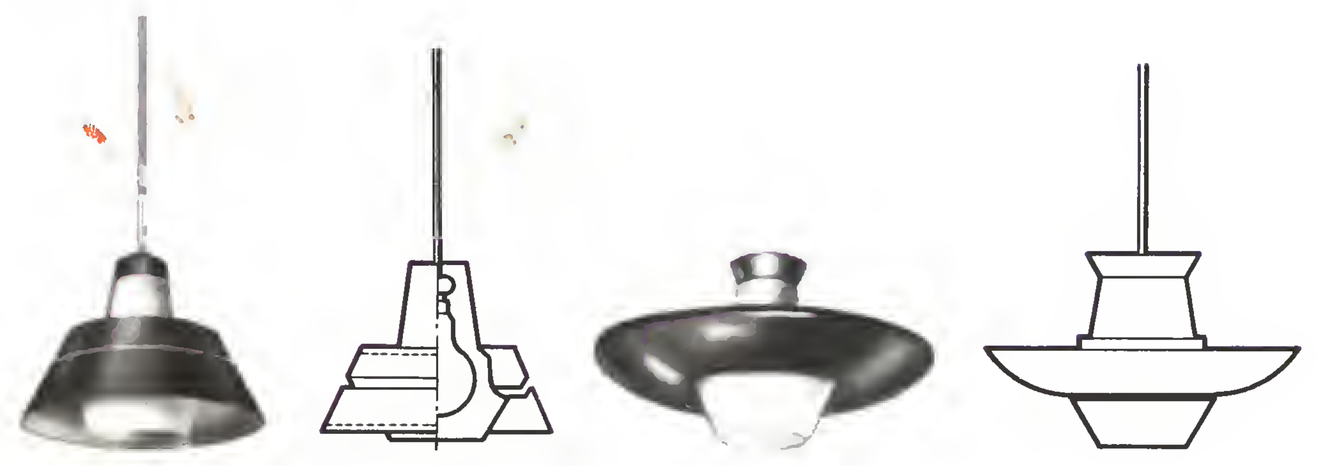
La iluminación directa-indirecta es del mismo género que la difusa, de la que se diferencia en la cantidad de luz emitida en sentido horizontal. Ello tiene origen en la opacidad de las paredes laterales de las armaduras que se utilizan para canalizar los haces luminosos



La diferencia entre la iluminación general difusa y la iluminación directa-indirecta, consiste en la cantidad de luz producida en dirección horizontal.



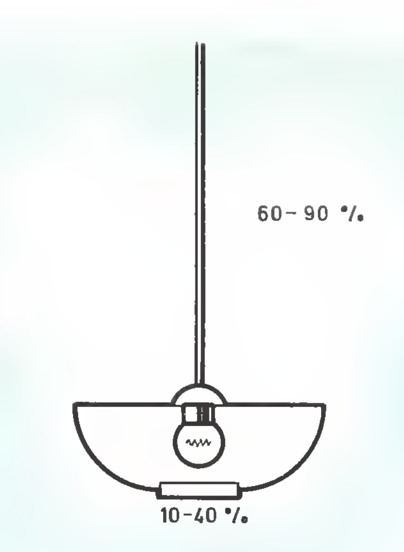
Moderna placa luminosa para alumbrado directo-indirecto equipada con lámparas fluorescentes.



Lámparas decorativas para iluminación directa-indirecta.

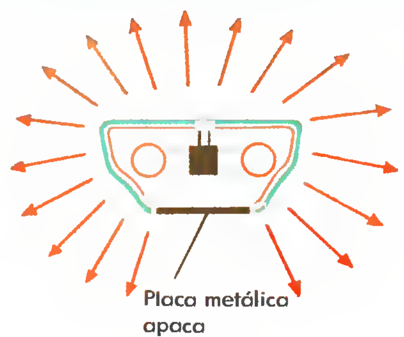
ILUMINACION SEMIINDIRECTA

En el alumbrado semiindirecto del 60 al 90 % del flujo luminoso emitido por la lámpara y distribuido por el aparato se dirige hacia el techo, mientras el resto se dirige hacia el plano de trabajo. Sus ventajas son las de conseguir una iluminación casi exenta de deslumbramiento y con sombras suaves; proporciona pues, una ambientación muy agradable. Su inconveniente es el de un bajo rendimiento luminoso por las elevadas pérdidas de absorción y reflexión en techos y paredes, lo cual puede evitarse en parte adoptando pinturas de tonos claros.



El alumbrado semiindirecto produce una agradable ambientación.





Armaduras de lámparas fluorescentes para alumbrado semiIndirecto.

ILUMINACION INDIRECTA

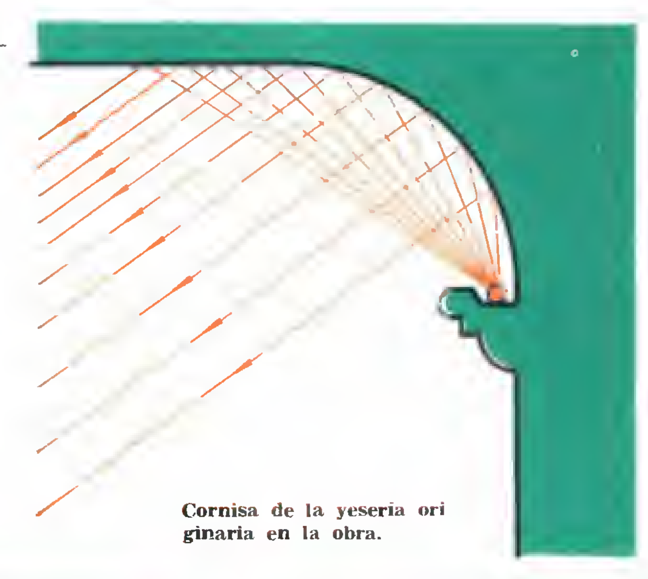
Del 90 al 100 % del flujo luminoso se dirige hacia el techo. Prácticamente toda la luz en el plano de trabajo se dirige hacia abajo por reflexión en el techo y en las paredes. Como el techo constituye en este caso la fuente de luz, la que se produce es bastante difusa. Aunque el alumbrado indirecto no es tan eficaz como el logrado por algunos otros sistemas, si se considera desde un punto de vista puramente económico, la distribución sencilla, la ausencia de sombras y de contrastes de luminancia le hacen con frecuencia el más adecuado para oficinas, escuelas, etc. Tal como se ha indicado para el alumbrado semiindirecto, teniendo en cuenta el papel decisivo que juegan las tonalidades de techos y paredes en la reflexión de la luz, es particularmente importante en iluminación indirecta que éstas sean lo más claras posible; además, los techos deberán pintarse en mate para evitar la imagen reflejada de la fuente luminosa.



Aparato para alumbrado totalmente indirecto.

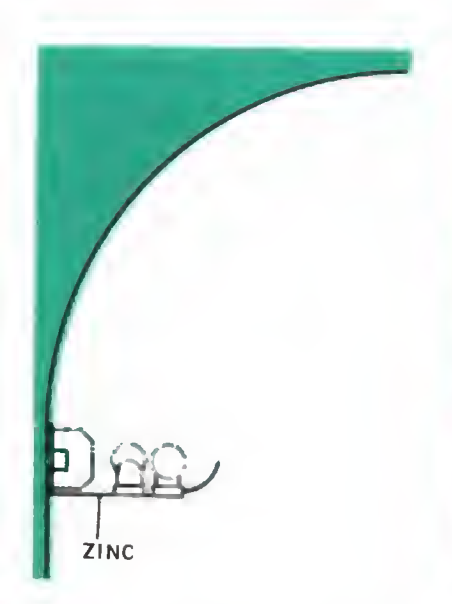
En este tipo de alumbrado las luminarias pueden ser opacas o translúcidas por su parte inferior. Aunque las primeras son indirectas por completo, se preferirán las segundas por contrastar menos contra el fondo luminoso y brillante del techo. La iluminación indirecta también puede obtenerse por medio de molduras y cornisas arquitectónicas.

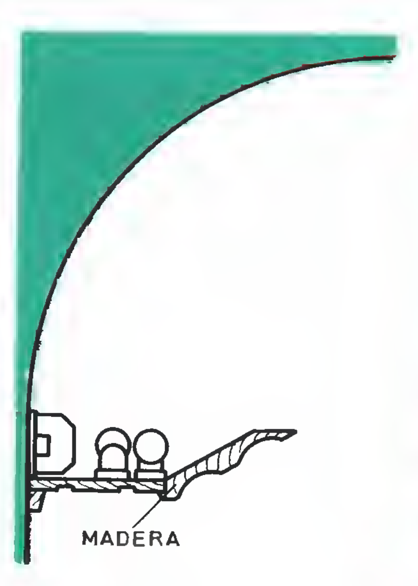
En todos los casos deben elegirse con gran cuidado la altura de suspensión de las luminarias o las proporciones de las molduras para cornisas, para proporcionar una iluminación uniforme en el techo.



Distintas soluciones para cornisas luminosas.

Cornisa de la yeseria originaria en la obra.





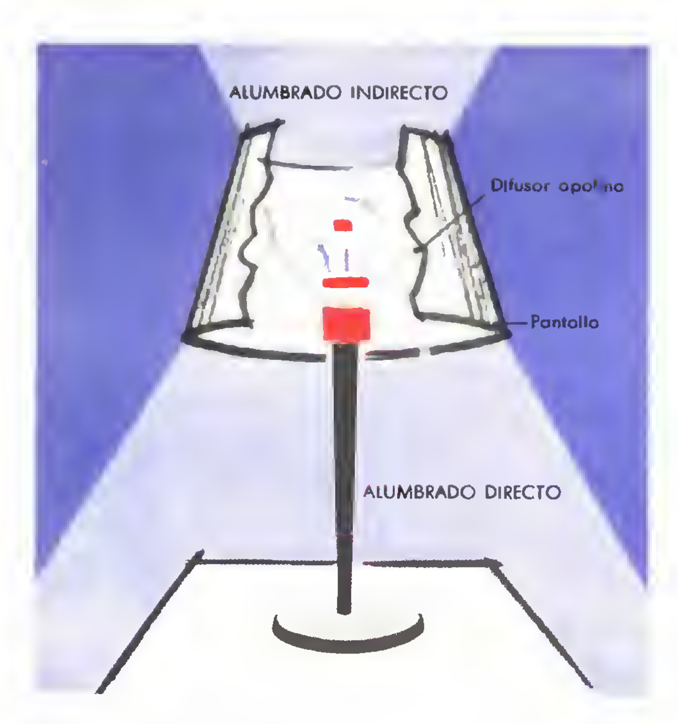


Tres soluciones con cornisas superpuestas a la pared.

LA LAMPARA DE TRABAJO

Con objeto de facilitar la labor de los constructores de lámparas, sin menoscabo de las concepciones puramente decorativas, las asociaciones de ingenieros de iluminación han recomendado una lámpara tipo, que se denomina *lámpara de trabajo*, compuesta en esencia de un pie y un difusor de luz disimulado bajo una pantalla y destinada a los trabajos que necesitan un esfuerzo visual continuado. La distribución de la luz que proporciona la lámpara es excelente, ya que la pantalla de gran diámetro de que está dotada reparte la luz sobre una extensa zona. El difusor de vidrio opalino difunde la luz hacia abajo y la dirige hacia el techo. La superficie interior de la pantalla es blanca y proporciona un elevado rendimiento lumínico. La altura del pie está calculada de modo que se ilumine toda la superficie de la mesa y se evite el deslumbramiento.

Hemos descrito esta lámpara por su alto interés para las personas dedicadas a una labor que exija un esfuerzo visual continuado (despacho, estudiantes, escritores, lectura, labores, etc.) y por representar una cierta conjunción de los sistemas diversos de alumbrado.



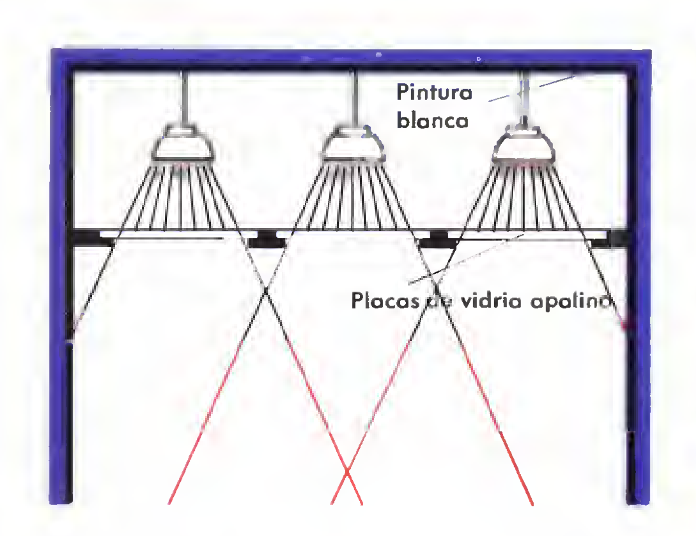


Lámpara de trabajo conforme a las recomendaciones de asociaciones luminotécnicas del mundo entero y fabricada en España por firmas muy conocidas en alumbrado.

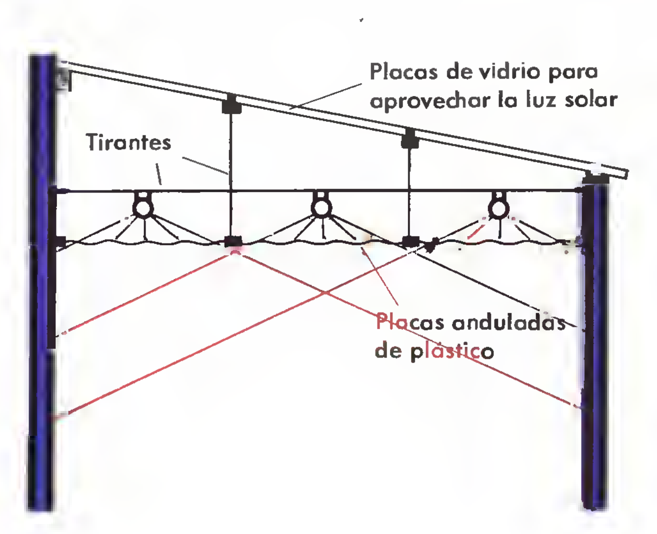
TECHO LUMINOSO

Son esencialmente paneles extendidos que cubren por completo o en gran parte el techo de una habitación. En unos casos el verdadero techo, que se encuentra por encima de estos paneles, es de cristal y permite aprovechar durante el día la luz natural; en otros, dicho techo es el normalmente opaco de una habitación. Tanto en un caso como en otro, el techo luminoso debe proyectarse para altos niveles luminosos obtenidos por lámparas dispuestas entre los paneles y el techo verdadero. Asimismo, aquéllas deben colocarse de forma que se obtenga una iluminación uniforme y altamente difusa. Por lo general se adoptan tubos fluorescentes montados directamente bajo el techo verdadero, a corta distancia del cual se disponen los paneles, de vidrio o de plástico, que constituyen el techo difuso luminoso que da una gran uniformidad luminosa.

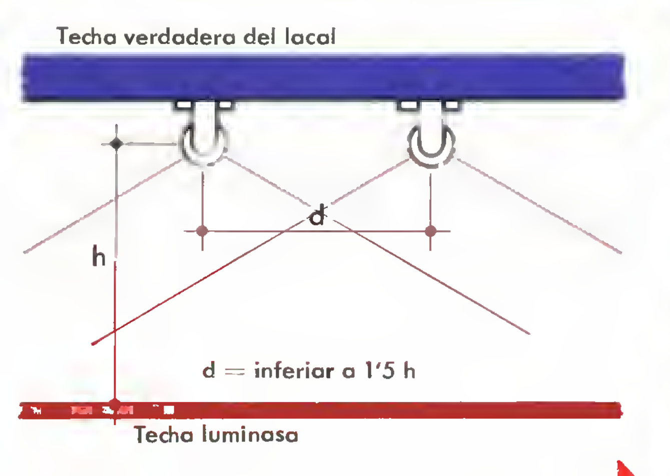
Una instalación de este género debe ser proyectada de forma que permita fácil acceso para la limpieza y sustitución de las lámparas. Si se utiliza un techo de vidrio se preferirá que sea opalino;

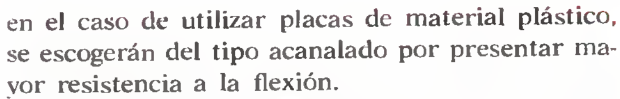


Techo luminoso con lámparas de incandescencia y placas difusoras de vidrio opalino.



Techo luminoso con lámparas fluorescentes y placas difusoras de plástico ondulado. Durante el día esta ejecución permite aprovechar la siempre inimitable luz natural.





Despacho comercial iluminado con techo luminoso.



en el caso de utilizar placas de material plástico, se escogerán del tipo acanalado por presentar mayor resistencia a la flexión.

Los materiales difusores que se empleen para el techo luminoso deberán poseer los siguientes coeficientes: 0'4 a 0'5 de reflexión, 0'4 a 0'5 de transmisión y un 0'1 como máximo de absorción.

Con un material difusor de las caracteristicas indicadas (aproximadamente 50 % de transmisión y 50 % de reflexión), y para lograr una adecuada uniformidad de luminancia, la distancia entre las lámparas o entre las hileras de tubos fluorescentes no deberá ser superior a 1'5 veces la altura de las mismas sobre el techo luminoso difusor.

El espacio comprendido entre el verdadero techo del local y el techo luminoso debe pintarse de blanco con el fin de obtener la máxima eficacia de reflexión y, por ende, del rendimiento lumínico, y además conseguir el mínimo posible de contrastes de luminancia a que pudieran dar lugar las sombras de tuberías o conducciones de cualquier clase. La altura de dicho espacio debe ser la menor posible, ya que la eficacia lumínica de un techo luminoso disminuye cuando aumenta la distancia que lo separa de las lámparas.

A veces dicho espacio se aprovecha, a modo de cielo raso, para el tendido de canalizaciones eléctrica, aire acondicionado, etc., a condición de que se procure no crear obstrucciones a la buena distribución del flujo luminoso.

MÉTODOS DE ALUMBRADO

La iluminación obtenida por cualquiera de los sistemas descritos, con los aparatos que les son característicos, puede clasificarse, además, con relación a la distribución de luz en el conjunto del local o área a iluminar, teniendo en cuenta la concentración de luz necesaria para efectuar una tarea determinada.

Los métodos de alumbrado no deben confundirse con los sistemas, ya que estos últimos hacen referencia a la forma en que un aparato transmite la luz emitida por una o varias lámparas; en cambio, el método de alumbrado indica en qué forma queda iluminado un local o lugar de trabajo.

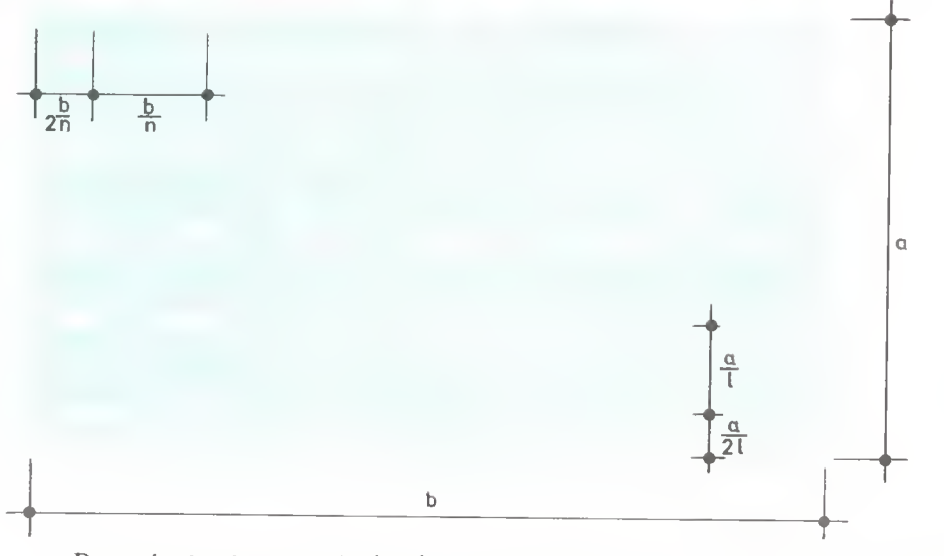
ALUMBRADO GENERAL

Cuando se desee un nivel razonablemente uniforme de iluminación en un área determinada, con el fin de conseguir en casi todos los puntos unas condiciones equivalentes de visión, se optará por distribuir los aparatos de luz en forma simétrica. A este método de disponer las fuentes de luz se le denomina alumbrado general.

El emplazamiento de las fuentes luminosas está condicionado por las dimensiones del local o habitación, las propiedades ópticas de las armaduras, el nivel de iluminación necesario en el local y el aspecto del conjunto de la instalación de alumbrado. Dicho emplazamiento está en función del local y de su utilidad.



Alumbrado general de una oficina por medio de lámparas fluorescentes distribuidas regular y simétricamente.



a = anchura del local.
b = longitud del local.
n = número de lámparas por línea = 7.
l = número de líneas = 5.

$\frac{b}{n} = \frac{\text{Longitud del local}}{\text{núm. de lámparas por línea}}$ = distancia entre lámparas de una misma línea.

$\frac{b}{2n}$ = distancia entre la última lámpara de la línea y la pared.

$\frac{a}{l}$ = distancia entre líneas de lámparas.

$\frac{a}{2l}$ = distancia entre la última línea de lámparas y la pared.

Después de efectuar el cálculo para determinar el número de lámparas con sus respectivas armaduras, como se indica más adelante, necesarias para producir el nivel luminoso deseado, se procede a colocarlas en el plano del local, de una manera aproximada, distribuyéndolas de tal forma que su número total sea divisible entre el número de líneas. La distancia entre las lámparas se calcula dividiendo la longitud de la habitación entre el número de aparatos de luz en una línea. Se admite la mitad de dicha distancia para las lámparas extremas de la línea con relación a la pared del local.

N.º de lámparas por línea =

$$= \frac{\text{N.º total de lámparas}}{\text{N.º de líneas}}$$

Distancia entre lámparas de una misma línea =

$$= \frac{\text{longitud del local}}{\text{N.º de lámparas por línea}}$$

Distancia de la primera y de la última lámpara de una línea a la pared del local:

$$= \frac{\text{distancia entre lámparas de un misma línea}}{2}$$

Igualmente, la distancia entre las líneas de lámparas se calcula dividiendo la anchura de la habitación entre el número de líneas, y dejando también la mitad de dicha distancia entre la pared y las líneas primera y última.

$$\text{N.º de líneas} = \frac{\text{N.º total de lámparas}}{\text{N.º de lámparas por línea}}$$

Distancia entre líneas de las lámparas =

$$= \frac{\text{anchura del local}}{\text{número de líneas}}$$

Distancia de la primera y de la última línea de lámparas a la pared del local =

$$= \frac{\text{distancia entre líneas de lámparas}}{2}$$

FORMAS MAS CORRIENTES DE DISTRIBUIR LOS APARATOS DE ALUMBRADO EN ILUMINACION GENERAL



INCANDESCENCIA o VAPOR DE MERCURIO

Muchas lámparas de relativa poca potencia

Muy buena distribución luminosa y relativamente elevado coste de la instalación

Pocas lámparas de gran potencia

Instalación más económica pero con bastante mala distribución luminosa (zonas oscuras)

Disposición intermedia entre las dos anteriores dando resultados aceptables

FLUORESCENCIA

Lámparas espaciadas y dispuestas en línea a lo largo del local

Aparatos o pantallas de lámparas fluorescentes colocados unos a continuación de otros en líneas a lo ancho del local

Aparatos colocados en hileras o líneas contínuas a lo largo del local

La distancia entre lámparas y la altura a que se instalan debe estar en relación con sus características de distribución y las de los aparatos. En el caso de fuentes luminosas de gran potencia, en general, se debe utilizar pantallas pequeñas y pueden espaciarse bastante las lámparas; los aparatos para iluminación indirecta, por tener una curva de distribución luminosa muy amplia, permiten también una mayor distancia entre cada aparato.

ALUMBRADO GENERAL LOCALIZADO

Este método de alumbrado consiste, de hecho, en una variante del anterior. Ahora bien, en este tipo de iluminación los aparatos se colocan en zonas de trabajo donde se necesitan altos niveles de iluminación.

En este método de alumbrado se utilizan fuentes luminosas del tipo directo, semidirecto, o directo-indirecto y no del tipo indirecto, ya que se necesita una cierta iluminación directa sobre la zona donde se realiza la labor. Este método es adecuado para grandes máquinas emplazadas en naves industriales, en mostradores comerciales y en los bancos de trabajo de las fábricas.

Desde el punto de vista del nivel de iluminación requerido, en general, puede decirse que para iluminaciones inferiores a 100 lux debe utilizarse el alumbrado general; para iluminaciones comprendidas entre 100 y 1000 lux se puede completar el alumbrado general con uno adicional o adoptar un alumbrado general localizado. Los valores indicados de 100 y 1000 lux corresponden a la práctica europea; en América se preconizan niveles de iluminación mucho más elevados que en Europa. Desde luego, como hemos indicado antes, nunca se está demasiado iluminado con el alumbrado artificial; si en Europa se utilizan niveles de iluminación relativamente bajos, se debe a pura y simple economía.

Segun sea la tarea a realizar, el nivel de iluminación es mayor o menor. La tabla III del Apéndice 3.º, Ficha Técnica 27, da, a título orientativo, los niveles mínimos de iluminación que se recomiendan en Europa para el alumbrado general de locales para las labores más frecuentes que se realizan.



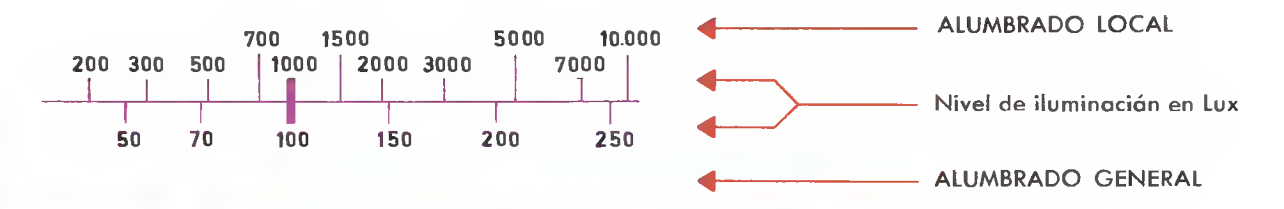
Alumbrado general localizado en una nave industrial. Como las máquinas se agrupan en sitios determinados, no es necesario mantener una distribución uniforme en todo el local. Al contrario, se prefiere un mayor nivel de iluminación en el lugar de trabajo. Al propio tiempo se consigue una iluminación general suficiente en las zonas circundantes.

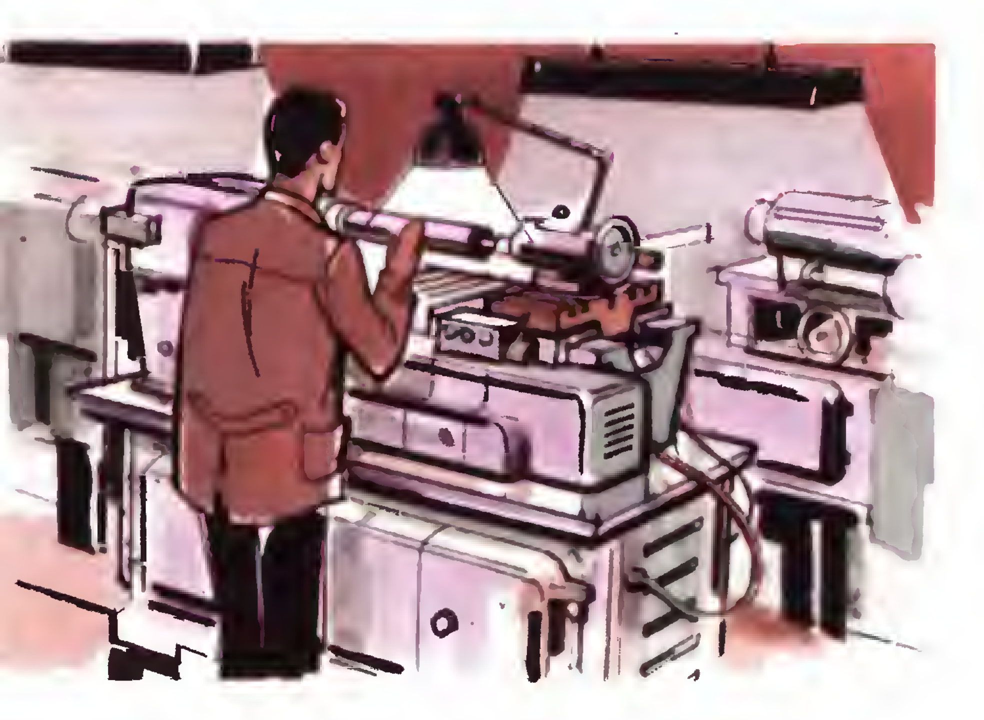
El método de alumbrado local proporciona una elevada intensidad en cada punto de trabajo en que la precisión de la tarea lo precise. Este alumbrado se consigue por iluminación directa y localizada, mas también se mantiene un alumbrado general para el conjunto del local.

Cuando se complemente el alumbrado general de un local con una iluminación localizada sobre ciertas zonas que exijan niveles mucho más elevados con relación al nivel general, medio, este último debe estar en proporción con el nivel del alumbrado general, dentro de límites razonables,

ya que una desproporción de luminancias o brillos crearía malas condiciones de trabajo en los puntos en que se desarrolla actividad. En general se recomienda que los niveles para alumbrado general y localizado estén en la siguiente relación:

Los aparatos de alumbrado utilizados en iluminación localizada acostumbran ser del tipo de reflector, aunque su curva de distribución luminosa varía sensiblemente según sea el área a cubrir, la distancia al punto de trabajo y el nivel luminoso requerido.





Alumbrado general y alumbrado localizado en un taller mecánico.

UN PROYECTO DE ILUMINACION INTERIOR

Si usted piensa proyectar una instalación de alumbrado, debe hacerlo de modo que la luz sea utilizada de la mejor forma posible, ya que, aun cuando haya colocado los cables y los interruptores y haya suspendido los aparatos —provistos de las correspondientes lámparas—, usted no sabrá aún qué resultado va a obtener. Una vez haya cerrado los interruptores, las lámparas se encenderán y existirá *cierto alumbrado.* En la práctica es imposible verificar la iluminación durante la instalación, y cuando ésta se da por terminada es demasiado tarde para modificar esencialmente cualquier disposición.

De ahí se desprende que en todo proyecto de alumbrado es de suma importancia tener en cuenta todas las eventualidades que puedan producirse en la realidad, antes de efectuar la instalación. Desde luego, no es tarea fácil, ya que se deben considerar muchos factores. No obstante, conociendo el valor de estos factores y deteniéndose a pensar en buena lógica la instalación, pueden conseguirse resultados por completo satisfactorios.

Antes de establecer el proyecto de alumbrado deben conocerse las características del local que se desea alumbrar, los gustos del cliente o usuario y las exigencias en materia de iluminación en fábricas, despachos, almacenes, etc.

El cálculo de una instalación de alumbrado se efectúa por el MÉTODO DEL COEFICIENTE DE UTILIZACIÓN o por el MÉTODO DEL PUNTO POR PUNTO. El primero por medio de una sencilla fórmula; por el segundo método se determina la inflluencia de cada aparato o lámpara en la iluminación total. El método punto por punto es virtualmente inaplicable en instalaciones interiores; por lo general sólo se usa en aplicaciones tales como el cálculo de alumbrado público e iluminación con proyectores.

Antes de iniciar el cálculo es preciso conocer el máximo de detalles y determinar los siguientes puntos:

— Longitud, anchura y altura del local. Es conveniente disponer de un plano en planta y alzado.

— Color de las paredes y techo, con el fin de estimar aproximadamente el factor de reflexión de dichas superficies. (Tabla II del Apéndice 3.º, Ficha Técnica 26.)

— Naturaleza del trabajo a efectuar, emplazamiento de muebles o de máquinas, altura del plano de trabajo, etc.

— Tensión de la red (para la adopción de las lámparas).

— Tipo de lámparas a utilizar (incandescencia, fluorescencia, descarga, etc.).

— Sistema de alumbrado (directo, indirecto, etcétera).

— Tipo de armaduras o aparatos de alumbrado (difusores, reflectores, etc.).

— Nivel de iluminación necesario, E. (Tabla III del Apéndice 3.º, Ficha Técnica 27.)

— Altura de suspensión de los aparatos.

Se recordará que, generalmente, las oficinas quedan mejor iluminadas mediante un sistema indirecto, semiindirecto o directo-indirecto. Las industrias fabriles utilizan con frecuencia un sistema directo o semidirecto, y las áreas comerciales pueden usar cualquier tipo de alumbrado o combinación de sistemas.

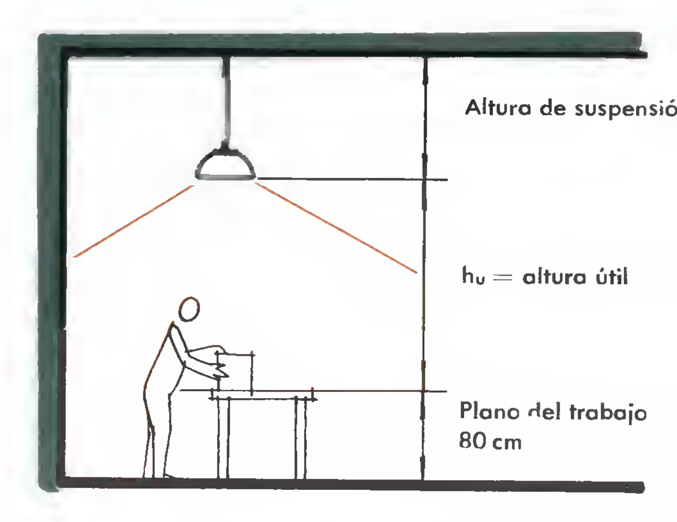
Una vez conocidos o adoptados los anteriores datos básicos se procederá a determinar los siete puntos siguientes:

1.º Altura útil h_u

Se denomina altura útil a la distancia que separa la fuente de luz del plano de trabajo.

  Altura de suspensión de las lámparas
+ Altura útil
+ Altura del plano de trabajo

= Altura del local



Altura útil en nn alnmbrado directo, semidirecto, directo-indirecto y general difuso.

Como término medio se considera que la altura del plano de trabajo es de 80 cm sobre el suelo.

La altura útil, tal como se ha definido, es la que se considera en alumbrado directo, semidirecto, directo-indirecto y general-difuso. En cambio, debido a la naturaleza de los alumbrados semiindirecto e indirecto, en éstos se ha de considerar como altura útil la distancia entre el techo y el plano de trabajo.

2.° Indice del local, k

Según sea la forma del local, el flujo luminoso emitido por las lámparas se refleja de una manera u otra en el techo y en las paredes e incide más o menos en el plano de trabajo.

En general, cuanto más alto y estrecho es el local mayor es la luz absorbida por las paredes. Dos locales cuyas dimensiones sean proporcionales entre sí tienen características luminotécnicas similares. Así, por ejemplo, un local de 3 m de largo × 3 m de ancho × 2'5 m de alto, iluminado por una lámpara situada en el centro y suspendida a 0'5 m del techo, es equivalente a otro de 6 × 6 m × 5 m iluminado con una lámpara también situada en el centro y suspendida a 1 m del techo.

Además, es fácil comprender que en locales que tengan el mismo ancho y largo el flujo luminoso que incide en el plano de trabajo es tanto menor cuanto mayor sea la altura útil.

Para tener en cuenta la influencia que tienen las dimensiones en la iluminación de un local se introduce en el cálculo el concepto de ÍNDICE DEL LOCAL. El valor de este coeficiente, que se simboliza por la letra k, se determina por medio de la fórmula siguiente:

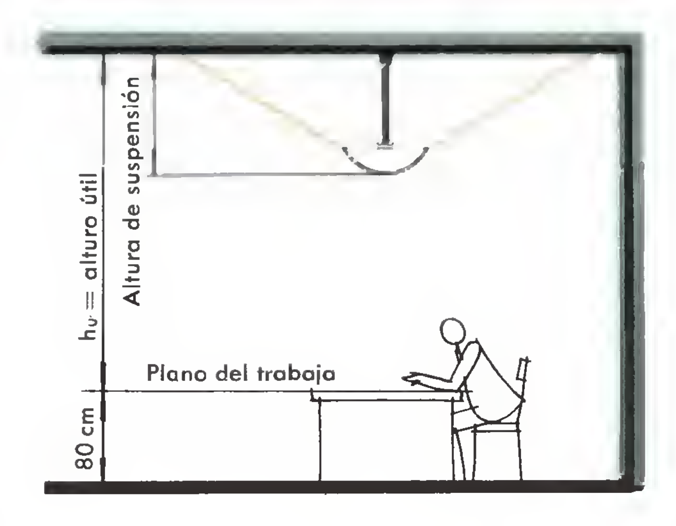
Indice del local,

$$K = \frac{\text{Longitud} \times \text{anchura}}{\text{Altura útil (longitud + anchura)}}$$

Para alumbrado directo o a predominancia directa,

$$K = \frac{L \times A}{h_u\ (L + A)}$$

Esta fórmula es válida para el alumbrado directo o de predominancia directa. En ella la altura última, como ya se ha indicado, es la distancia que media entre el aparato de iluminación y el plano de trabajo. En cambio, en alumbrado indirecto o semiindirecto se debe considerar como altura útil la distancia del techo al plano de



Altura útil en alumbrado semiindirecto e indirecto.

trabajo. La fórmula a emplear en estos casos es la siguiente:

$$k = \frac{3}{2} \times \frac{L \times A}{h'_u (L + A)} = \frac{3 \times L \times A}{2 \times h'_u \times (L + A)}$$

Para facilitar los cálculos, las tablas IV y V del Apéndice 3.°, Fichas Técnicas 28 y 29, dan directamente el valor del índice del local según sean los valores de su anchura y de su longitud en metros, según sea la altura del techo (*en alumbrado indirecto o semiindirecto*) o la altura de las lámparas por encima del suelo (*alumbrado mixto, difuso, semidirecto y directo*).

Los valores del cociente k han sido redondeados y agrupados en diez grupos que se designan por letras; éstas indican el índice de local en dicha tabla y las siguientes. La equivalencia entre los valores del coeficiente k y las letras que designan el índice del local es la siguiente:

INDICE DEL LOCAL	COEFICIENTE k Valor medio aproximado	 Margen de valores
A	5	más de 4,5
B	4	3'5 a 4'5
C	3	2'75 a 3'5
D	2'5	2'25 a 2'75
E	2	1'75 a 2'25
F	1'5	1'38 a 1'75
G	1'25	1'12 a 1'38
H	1	0'9 a 1'12
I	0,8	0'7 a 0'9
J	0'7	menos de 0'7

3.° Coeficiente de utilización, u

Se denomina COEFICIENTE DE UTILIZACIÓN *u* a la relación entre el flujo luminoso útil incidente en el plano de trabajo y el flujo luminoso total emitido por las lámparas.

$$u = \frac{\Phi_u}{\Phi}$$

El flujo luminoso que realmente incide sobre el plano de trabajo siempre es menor que el flujo emitido por la lámpara o las lámparas. La cuantía de esta reducción, que está dada por el coeficiente *u*, depende:

— Del rendimiento del aparato (relación entre el flujo transmitido por el aparato de alumbrado y el emitido por la lámpara).

— De la curva fotométrica del aparato y de la lámpara; es decir, de la forma en que es distribuido el flujo luminoso en el espacio del local.

— De los factores de reflexión del techo y de las paredes; es decir, de la proporción de flujo luminoso reflejado por ellas hacia el centro del local.

— Del índice del local, que tiene en cuenta la forma de éste y la posición del o de los aparatos de alumbrado.

El coeficiente de utilización se ha determinado experimentalmente, para cada caso en particular, por medidas fotométricas efectuadas en piezas cuadradas de diferentes alturas y cuyas paredes y techo tenían factores de reflexión conocidos. De los resultados obtenidos en las medidas se han elaborado las tablas VI y VII del Apéndice 3.°, Fichas Técnicas 30 y 31, con los que se puede determinar el coeficiente de utilización *u*, en función del local y de la tonalidad o poder reflector de las paredes y techo, según sea el tipo de aparato de alumbrado utilizado.

4.° Factor de conservación, d

El flujo luminoso producido por una lámpara o conjunto de lámparas no es el mismo cuando la instalación es nueva que cuando haya funcionado durante muchas horas; incluso, en este último caso, no es el mismo si la instalación se conserva limpia y se reponen las lámparas antes de que envejezcan demasiado que si se deja sucia y con lámparas de bajo rendimiento por estar ya agotadas.

Si al proyectar una instalación de alumbrado no se tienen en cuenta estas consideraciones, cuando se estrena todo va muy bien si está bien calculada; pero con el tiempo la iluminación producida por la instalación va debilitándose, dando lugar a la sensación de pérdida de comodidad, aunque se pague el mismo importe por la energía eléctrica consumida.

Para evitar que con el tiempo el nivel de iluminación sea demasiado bajo, cabe introducir en el cálculo un FACTOR DE DEPRECIACIÓN que tiene en cuenta el envejecimiento de las lámparas, el ennegrecimiento de los aparatos de alumbrado y el de las paredes del local. Como las lámparas no emiten ya más que el 80 % de su flujo luminoso inicial cuando alcanzan su vida media de duración (1000 horas para las de incandescencia y 3500 para las fluorescencia), debe considerarse que el factor de depreciación mínimo es 1 + 20 % = 1'2.

Decimos *mínimo* porque el coeficiente 1'2 sólo tiene en cuenta el envejecimiento de las lámparas y no el ennegrecimiento de las paredes, techos y aparatos. Es decir, que tal coeficiente presupone el mantenimiento perfecto de la instalación, tan perfecto que sólo constituye un caso ideal imposible de alcanzar en la práctica.

Por ello, en lugar del denominado factor de depreciación preferimos considerar el FACTOR DE CONSERVACIÓN, que, como regla general, se toma mayor cuando la limpieza y cuidado de la instalación sea más difícil (aparatos de alumbrado complicados e instalados muy altos), cuando las pinturas de las paredes estén expuestas a alteración y deterioro y cuando la instalación esté menos resguarda de la suciedad, como en ciertos talleres industriales o en los locales situados en pisos bajos de los inmuebles de las grandes ciudades. En estos casos desfavorables se toma d = 1'5; en casos más favorables, si no se dispone de datos precisos sobre la instalación, se toma como mínimo d = 1'3.

La tabla VIII del Apéndice 3.°, Ficha Técnica 32, da los factores de conservación de diferentes lámparas y luminarias comúnmente empleadas según cuáles sean las condiciones de entretenimiento:

BUENO. En ambientes de atmósfera limpia, cuando las luminarias se limpian con frecuencia y cuando las lámparas se cambian por grupos antes de esperar que se agoten.

MEDIO. En ambientes ligeramente cargados, cuando los aparatos de alumbrado se limpian esporádicamente y cuando sólo se sustituye una lámpara si se funde o está completamente agotada.

MALO. Cuando la atmósfera está cargada y cuando la instalación se cuida de forma muy deficiente.

5.° Flujo luminoso, Φ necesario para alumbrado general a un nivel de iluminación dado

Para obtener el nivel de iluminación deseado E (lux) sobre toda la superficie del plano de trabajo de área S metros cuadrados, es necesario que sobre la misma incida un cierto flujo luminoso Φ_u.

$$\Phi_u = E \times S \text{ (lumen)}$$

Además, sabemos que el flujo luminoso emitido por las lámparas debe ser el útil incrementado por los coeficientes de utilización y de conservación. En consecuencia, el flujo luminoso emitido se calcula por la fórmula:

$$\Phi = \frac{\Phi_u \times d}{u} = \frac{E \times S \times d}{u}$$

El valor de E (nivel de iluminación) se elige según el fin a que se destina el local. A título orientativo pueden adoptarse los valores de la tabla III del Apéndice. Determinaremos el valor de S multiplicando la anchura por la longitud del local (medidas en metros). El coeficiente de utilización y el de conservación se determinan, como antes se indicó, con ayuda de las tablas IV, V, VI, VII y VIII del Apéndice 3.°.

Conociendo el valor de Φ, conocemos el flujo luminoso que deben emitir las lámparas de los dispositivos de alumbrado adoptados para obtener el nivel de iluminación deseado, E.

Ahora se trata de determinar cuántos focos luminosos deben instalarse, cuál deberá ser la potencia luminosa de cada uno y cómo deben distribuirse en el local con el fin de obtener uniformidad en la iluminación.

6.° Número y potencia de los focos luminosos

Los catálogos de los fabricantes de lámparas indican el flujo luminoso que emiten las de cada tipo. Por tanto, si hemos escogido un tipo dado de lámpara para obtener el número de lámparas necesario es suficiente con dividir el flujo luminoso total necesario para el nivel de iluminación del local entre el flujo luminoso emitido por la lámpara.

Número de lámparas =

$$= \frac{\text{Flujo luminoso total}}{\text{Flujo luminoso emitido por la lámpara}}$$

Ahora bien; en lugar de elegir directamente una lámpara, por razones de estética u otras, podemos vernos obligados a adoptar un número dado de lámparas. En este caso, al dividir el flujo total necesario entre el número de lámparas obtendremos el flujo luminoso que debe emitir cada una; y consultando los catálogos e informaciones técnicas de los fabricantes se escogerán aquellas lámparas cuyo flujo luminoso sea parecido al calculado.

Flujo luminoso aproximado que debe emitir cada lámpara =

$$= \frac{\text{Flujo luminoso total}}{\text{Número de lámparas}}$$

Es decir, que podemos resolver este sexto punto eligiendo el tipo de lámpara; o bien determinarlo en base el número de los que debemos instalar en el local teniendo en cuenta las consideraciones del punto 7.°.

Desde el punto de vista económico puede interesar adoptar lámparas de elevada potencia, aunque tales lámparas producen un elevado nivel de iluminación en la dirección del eje óptico y dejan sombras muy marcadas en las zonas circundantes. Ello no presenta grandes problemas en ciertos tipos de iluminación, como en exteriores y naves industriales, por ejemplo; en cambio, para la iluminación de interiores, oficinas, etc., puede convenir mejor el distribuir mayor número de lámparas de menor potencia unitaria con el fin de obtener la mejor UNIFORMIDAD DE ILUMINACIÓN posible.

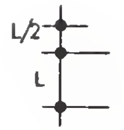
El número de lámparas adoptado o determinado se distribuye en el local, de una a una o por grupos, en aparatos o luminarias a su vez situados del modo conveniente.

7.° Disposición de los focos luminosos

El emplazamiento de los focos luminosos depende en general de la disposición y dimensiones del local, de la posición de las cajas de conexión existentes y del tipo de aparato de alumbrado, etcétera. Los equipos fluorescentes se montan por lo general formando líneas a lo largo o a lo ancho del local.

La altura de suspensión de los equipos luminosos está en relación con la uniformidad de iluminación. Cuanto más altos estén instalados los focos luminosos mayor será la uniformidad de iluminación; para conseguir un nivel de iluminación dado, mayor deberá ser el flujo emitido por cada lámpara, y por ende su potencia.

De nuevo el arte del luminotécnico debe elegir una solución de compromiso entre las dife-



A LO LARGO

A LO ANCHO

L

L/2

Los equipos fluorescentes se montan formando líneas.

rentes disposiciones posibles, las más típicas de las cuales son:

1. Pocos focos luminosos de elevada potencia situados a gran altura.
2. Pocos focos luminosos de mediana potencia situados a poca altura. (Solución más económica pero, en general, con la peor uniformidad de iluminación.)
3. Muchos focos luminosos de poca potencia situados a poca altura.
4. Muchos focos luminosos de mediana potencia situados a gran altura. (Es la solución más cara, pero es la que da la mejor uniformidad de iluminación.)

Para conseguir buena uniformidad de iluminación es conveniente guardar ciertas proporciones entre la altura de montaje de los focos luminosos y la distancia entre sí y entre ellos y los muros. Además, en el caso de alumbrado indirecto con lámparas de incandescencia no debe olvidarse el factor de reflexión del techo, ya que, con la idea de emplear pocas unidades de alumbrado, quizá las escogeríamos de gran potencia, y si estuvieran instaladas cerca del techo se correría el riesgo de deslumbrarnos por reflexión en el techo de las elevadas intensidades luminosas.

En definitiva, tenemos libertad de elección para adoptar una distribución u otra, elección supeditada al tipo de local, a la labor que en él debe realizarse y a nuestra concepción artística de la luminotecnia. No obstante, hemos indicado que deben rebasarse unas condiciones mínimas aconsejadas por la experiencia, que en el Apéndice 3.º se resumen por la tabla IX, Ficha Técnica 33, la cual indica la altura de suspensión de los focos luminosos más acorde con la altura del local, según se trate de alumbrado del tipo directo o indirecto, y en función de dichas dos alturas se indica la *separación máxima admisible entre focos luminosos*. En el caso de equipos fluorescentes instalados en filas, dicha separación indica la correspondiente entre ellas; la distancia de las filas extremas a los muros debe ser aproximadamente la mitad de la indicada.

Finalmente, no sólo hay que considerar la disposición del local y la uniformidad de iluminación: también es necesario evitar en la medida de lo posible que las lámparas estén situadas en el campo visual normal de los ocupantes del local mientras realizan su labor, y se estudiará una disposición de los focos luminosos que evite los reflejos molestos.

Valiéndose de la tabla IX, se comienza por fijar la separación aproximada entre las lámparas o las filas que forman, y luego se determinan los emplazamientos exactos que se les asignan teniendo en cuenta los elementos arquitectónicos que pudiera haber en el local (sofitos, armaduras, arcos, pilares, etc.). Entonces, el estudio de la disposición de los focos luminosos se reduce a poco más que fijar el número de los que se necesitan en función del flujo luminoso total necesario, como se ha indicado en el punto 6.º.

* * *

ANTEPROYECTO DE ALUMBRADO

LOCAL A ILUMINAR

Taller de montaje de maquinaria eléctrica de 30 m de largo, 20 m de ancho y 4'5 m de altura.

El techo y las paredes de la nave son de color claro con grandes superficies acristaladas. Se supone un coeficiente de reflexión medio, tanto en las paredes como en el techo, del 80 %.

Coeficiente de reflexión del techo, $r_t = 0'5$

Coeficiente de reflexión de las paredes, $r_p = 0'5$

TIPO DE ALUMBRADO

La tarea que se realiza no precisa gran agudeza visual, por lo que se considera como conveniente un alumbrado general con nivel de iluminación medio en el plano de trabajo de 200 lux. En los puestos en que la naturaleza del trabajo exija mayor nivel, éste se obtendrá por medio de un alumbrado local adicional.

Los focos luminosos estarán constituidos por reflectores industriales de tipo abierto dotados de lámparas de incandescencia, de descarga en vapor de mercurio corregidas o fluorescentes, según convenga a la mejor distribución y mantenimiento de dichos focos. Siempre debe contarse con las posibles averías y reparaciones.

DETERMINACION DEL FLUJO LUMINOSO NECESARIO

Altura útil

Puesto que la altura del local es 4'5 m, se adopta una altura de suspensión de los aparatos de 3'5 m. Suponiendo que el plano de trabajo está a 0'80 m del suelo, la altura útil será:

Altura de suspensión	3'5 m
Altura del plano de trabajo	—0'8 m
Altura útil, h_u	=2'7 m

Indice del local

$$k = \frac{30 \times 20}{2'7\ (30 + 20)} = 4'45$$

El coeficiente k = 4'45 corresponde al índice de la letra B, que también habríamos podido determinar directamente con ayuda de la tabla V del Apéndice.

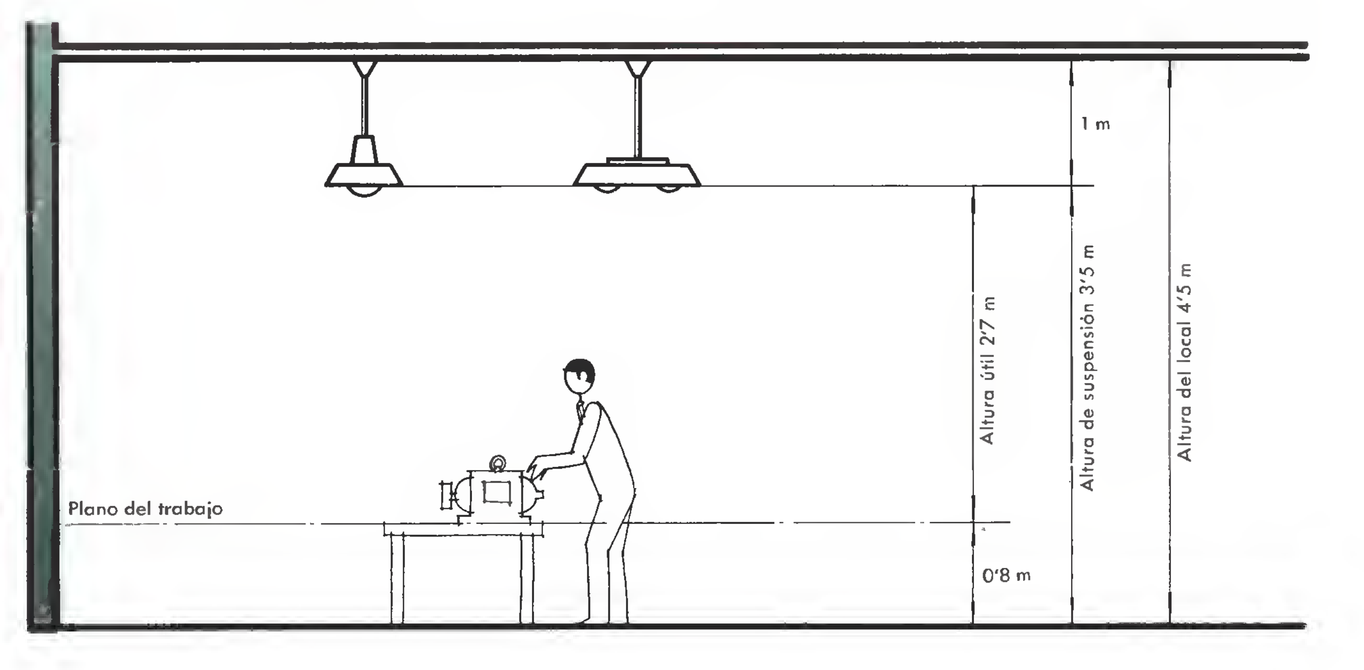
Coeficiente de utilización

De las tablas VI y VII del Apéndice, para $r_t =$ $= 50$ %, $r_p = 50$ % e índice B, encontramos para

Incandescencia	u = 0'66
Fluorescencia	u = 0'59

Factor de conservación

Previendo que el mantenimiento de los focos



luminosos será de tipo mediano, de la tabla VIII del Apéndice 3.° entresacamos

Incandescencia . . .. d = 1'5
Fluorescencia ... . d = 1'65

FLUJO LUMINOSO ÚTIL NECESARIO PARA EL ALUMBRADO DEL LOCAL

Superficie, S = 30 × 20 = 600 m²

Nivel de iluminación, E = 200 lux

$\Phi_u = 200 \times 600 = 120.000$ lumen

FLUJO LUMINOSO TOTAL A EMITIR POR LAS LÁMPARAS

Incandescencia:

$$\Phi_t = \Phi_u \frac{d}{u} = 120.000 \frac{1'5}{0'66} = 272.400 \text{ lumen}$$

Fluorescencia:

$$\Phi_t = 120.000 \frac{1'65}{0'59} = 336.000 \text{ lumen}$$

ELECCION DE LAS LAMPARAS Y DISTRIBUCION DE LOS APARATOS EN EL LOCAL

Podemos elegir entre los alumbrados por incandescencia, por descarga en vapor de mercurio corregida o por fluorescencia. Para cada uno calcularemos el número de lámparas necesarias y determinaremos la distribución racional en el local.

Teniendo en cuenta las proporciones del local, y tras la consulta de los catálogos de fabricantes de lámparas, consideramos en principio los siguientes focos:

a) INCANDESCENCIA. Lámpara de 500 W y flujo luminoso medio de 8.500 lumen.

b) DESCARGA. Lámpara de 250 W, de vapor de mercurio, de tipo corregido, con flujo luminoso medio de 10.000 lumen.

c) FLUORESCENCIA. Tubo de arranque rápido, de 40 W, color «luz de día», con flujo luminoso medio de 2.500 lumen.

a) INCANDESCENCIA

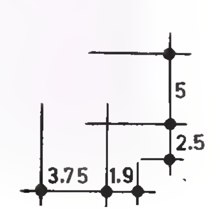
N.° de lámparas =

$$= \frac{\text{Flujo luminoso total necesario}}{\text{Flujo luminoso emitido por la lámpara}}$$

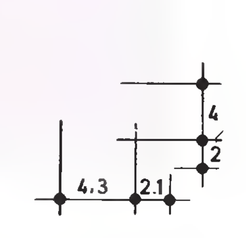
$$n = \frac{\Phi\ t}{\Phi\ 1} = \frac{272.400}{8500} = 32 \text{ lámparas}$$

Teniendo en cuenta las dimensiones del local, instalaríamos 8 lámparas a lo largo y 4 en anchura; es decir, 8 × 4 = 32 lámparas. Ahora bien, a lo ancho del local las lámparas quedarían separadas por 20/4 = 5 m, contra solamente 30/8 = = 3'75 a lo largo, lo cual da lugar a una distribución no del todo regular.

Al contrario si adoptamos 7 × 5 = 35 lámparas, las distancias entre focos luminosos serán de 30/7 = 4'3 y 20/5 = 4, las cuales son prácticamente iguales; y si bien deberemos emplear tres fo-



Incandescencia con: 8 × 4 = 32 lámparas de 500 W. Con esta distribución de la luz, tendremos: E = nivel de iluminación = 260 Lx. Φ_t = Flujo total = = 272.400 Lm. Φ_l = Flujo por lámpara = 8.500 Lm.



Incandescencia con: 7 × 5 = 35 lámparas de 500 W. Esta distribución es mucho más regular, proporcionando una mayor uniformidad de iluminación. Φ_t = 297.500 Lm. Φ_l = 8.500 Lm. E = 218 Lx

cos luminosos más, obtendremos mejor uniformidad luminosa aparte de un nivel de iluminación ligeramente mayor.

$$\Phi_t \quad 35 \times 8500 = 297.500 \text{ lumen}$$

$$\Phi_u \quad 297.500 \frac{0'66}{1'5} = 130.900 \text{ lumen}$$

$$E = \frac{\Phi_u}{S} = \frac{130.900}{600} = 218 \text{ lux}$$

El consumo total de energía eléctrica de la instalación de alumbrado, con 35 lámparas de incandescencia de 500 W, sería:

$$35 \times 0'5 = 17'5 \text{ KW}$$

b) Descarga en vapor de mercurio

$$n = \frac{\Phi_t}{\Phi_l} = \frac{272.400}{10.000} \sim 28 \text{ lámparas}$$

De forma similar al caso de incandescencia, podemos distribuir las lámparas en 4 filas de 7 lámparas; en este caso, el número justo de lámparas permite una distribución bastante regular.

El consumo en energía eléctrica del conjunto de las 28 lámparas de descarga en vapor de mercurio, junto con el de sus accesorios correspondientes, sería de:

$$28 \ (250 + 25) = 7700 \text{ W} = 7'7 \text{ KW}$$

Vemos que al utilizar lámparas de descarga en vapor de mercurio podemos obtener el mismo nivel de iluminación que con lámparas de incandescencia, y además obtener una economía en energía eléctrica del 50 %; en contrapartida, recordemos el arranque instantáneo de la lámpara incandescente y el retardo de la descarga. Además, la tonalidad de la de incandescencia es mucho más cálida que la de la de descarga en vapor de Hg; no obstante, ello no es un grave inconveniente en la nave industrial que consideramos, en especial si elegimos lámparas de descarga de color corregido o de luz mixta.

c) Fluorescencia

Adoptaríamos el tubo fluorescente standard de 40 W con emisión media de 2500 lumen.

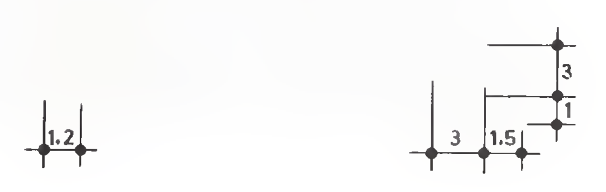
$$n = \frac{\Phi_t}{\Phi_l} = \frac{336.000}{2500} = 136 \text{ tubos}$$

Preferiremos adoptar reflectores industriales con dos tubos fluorescentes por aparato, dado lo cual el número de aparatos sería de

$$\frac{136}{2} = 68,$$



Descarga en vapor de mercurio: 7 1 28 lamp. de 250 W. E 200 L. Φ_t 272.400 Lm. Φ_l 10.000 Lm.



Fluorescencia: 10 × 7 = 70 reflectores de dos tubos cada uno = 140 tubos de 40 W. Φ_l = 2.500 Lm. Φ_t = = 350.000 Lm. E = 209 L.

los cuales podríamos distribuir en 7 filas de 10 tubos en línea; es decir, 70 aparatos en lugar de 68, con las consiguientes características luminotécnicas:

$$\Phi_t = 70 \times 2 \times 2500 = 350.000 \text{ lumen}$$

$$\Phi_u = 450.000 \frac{0'59}{1'65} = 125.150 \text{ lumen}$$

$$E = \frac{\Phi_u}{S} = \frac{125.150}{600} = 209 \text{ lux}$$

El consumo de energía eléctrica de la instalación con tubos fluorescentes y sus accesorios correspondientes sería de

$$140 \ (140 + 10) = 7000 \text{ W} = 7 \text{ KW}$$

cos luminosos más, obtendremos mejor uniformidad luminosa aparte de un nivel de iluminación ligeramente mayor.

$$\Phi_t = 35 \times 8500 = 297.500 \text{ lumen}$$

$$\Phi_u = 297.500 \frac{0'66}{1'5} = 130.900 \text{ lumen}$$

$$E = \frac{\Phi_u}{S} = \frac{130.900}{600} = 218 \text{ lux}$$

El consumo total de energía eléctrica de la instalación de alumbrado, con 35 lámparas de incandescencia de 500 W, sería:

$$35 \times 0'5 = 17'5 \text{ KW}$$

b) Descarga en vapor de mercurio

$$n = \frac{\Phi_t}{\Phi_l} = \frac{272.400}{10.000} \sim 28 \text{ lámparas}$$

De forma similar al caso de incandescencia, podemos distribuir las lámparas en 4 filas de 7 lámparas; en este caso, el número justo de lámparas permite una distribución bastante regular.

El consumo en energía eléctrica del conjunto de las 28 lámparas de descarga en vapor de mercurio, junto con el de sus accesorios correspondientes, sería de:

$$28\ (250 + 25) = 7700 \text{ W} = 7'7 \text{ KW}$$

Vemos que al utilizar lámparas de descarga en vapor de mercurio podemos obtener el mismo nivel de iluminación que con lámparas de incandescencia, y además obtener una economía en energía eléctrica del 50 %; en contrapartida, recordemos el arranque instantáneo de la lámpara incandescente y el retardo de la descarga. Además, la tonalidad de la de incandescencia es mucho más cálida que la de la de descarga en vapor de Hg; no obstante, ello no es un grave inconveniente en la nave industrial que consideramos, en especial si elegimos lámparas de descarga de color corregido o de luz mixta.

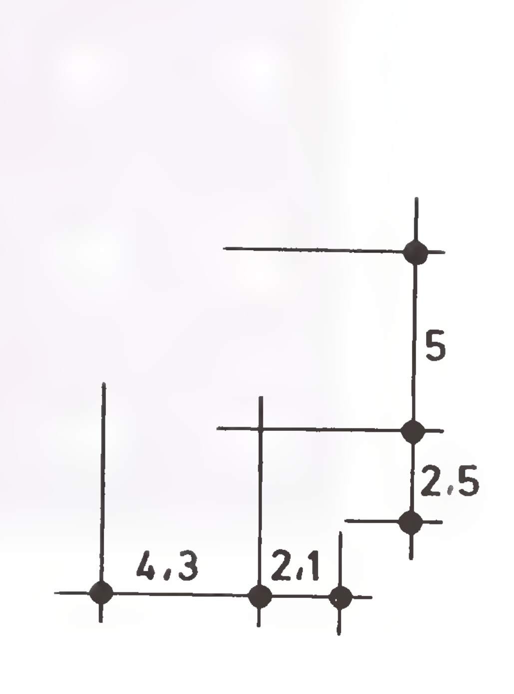
c) Fluorescencia

Adoptaríamos el tubo fluorescente standard de 40 W con emisión media de 2500 lumen.

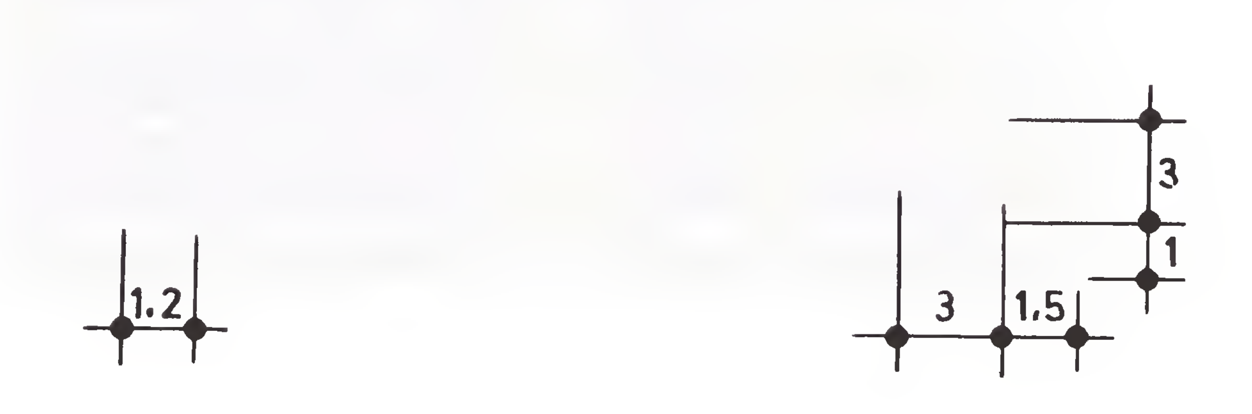
$$n = \frac{\Phi_t}{\Phi_l} = \frac{336.000}{2500} = 136 \text{ tubos}$$

Preferiremos adoptar reflectores industriales con dos tubos fluorescentes por aparato, dado lo cual el número de aparatos sería de

$$\frac{136}{2} = 68,$$



Descarga en vapor de mercurio: 7 4 28 lámp. de 250 W. E = 200 L. Φ_t 272.400 Lm. Φ_l 10.000 Lm.



Fluorescencia: 10 × 7 = 70 reflectores de dos tubos cada uno = 140 tubos de 40 W. Φ_l = 2.500 Lm. Φ_t = = 350.000 Lm. E = 209 Lx.

los cuales podríamos distribuir en 7 filas de 10 tubos en línea; es decir, 70 aparatos en lugar de 68, con las consiguientes características luminotécnicas:

$$\Phi_t = 70 \times 2 \times 2500 = 350.000 \text{ lumen}$$

$$\Phi_u = 450.000 \frac{0'59}{1'65} = 125.150 \text{ lumen}$$

$$E = \frac{\Phi_u}{S} = \frac{125.150}{600} = 209 \text{ lux}$$

El consumo de energía eléctrica de la instalación con tubos fluorescentes y sus accesorios correspondientes sería de

$$140\ (140 + 10) = 7000 \text{ W} = 7 \text{ KW}$$

Es decir, el consumo de energía de los tubos fluorescentes es el mismo que con lámparas de vapor de Hg para un mismo nivel de iluminación; y además no se presentan los inconvenientes de tonalidad de color y retardo en el arranque.

En conclusión, la instalación del alumbrado fluorescente proporciona la mejor uniformidad de iluminación, con buena calidad dc color si los elegimos con un poco de esmero. Aunque el costo inicial de la instalación es más elevado que en los otros dos sistemas, el consumo es menor, por lo que la amortización es más rápida.

* * *

ILUMINACION DE APARTAMENTOS

LA LUZ EN LA DECORACION INTERIOR

Este capítulo está dedicado al estudio de la decoración y comodidad de la vivienda familiar por medio de la iluminación. Con él va nuestro deseo y nuestro propósito de que su vivienda esté racionalmente iluminada para que usted, su familia y sus amigos se sientan bien acogidos en ella, lo que depende principalmente de usted, sean cuales sean su presupuesto y disponibilidades. Efectivamente, sabemos que el factor fisiológico juega un papel principal en iluminación y que no es forzoso emplear grandes potencias luminosas para ambientar una habitación, sino al contrario. Y... no olvide que la energía eléctrica cuesta dinero; no la desperdicie, pero en cambio emplee la necesaria y aprovéchela bien, es decir: NO ILUMINE EXCESIVAMENTE.

Conseguir que un interior sea cómodo y atrayente es fácil y poco costoso; sin embargo, muchas personas lo desconocen o lo olvidan. Son muchas las familias que renuevan el mobiliario, que adquieren un nuevo objeto decorativo, etc., etc., pero... no saben por qué la vivienda no es tan acogedora como otras que han conocido. Ello se debe a que la iluminación del interior no ha sido concebida para proporcionar descanso visual, sino que se continúa siguiendo formas convencionales, casi seculares. En algunos casos, como máximo, se ha buscado que el pie, la pantalla o la armadura sean decorativos, en lugar de procurar que sea precisamente la luz emitida la que coopere con la decoración interior.

Una iluminación atractiva y a la vez cómoda requiere condiciones específicas de cada lugar en particular. La primera condición de toda iluminación es ofrecer la *comodidad visual;* además, debe proporcionar el máximo resalte de todas las cualidades de una pieza en sus menores detalles.

Ante todo, la iluminación ha de ser uniforme y debe permitir una visión normal. El tiempo durante el cual esté encendida una lámpara es factor determinante, ya que su intensidad luminosa puede parecer apropiada cuando se utiliza por breves instantes, pero ser insoportable por excesiva cuando se usa durante mucho tiempo.

EN CADA PIEZA UNA ILUMINACION AMBIENTAL...

Muchas personas ignoran que el cansancio de la vista se prolonga por causa de la iluminación deficiente. Cuando en una pieza no se deba realizar un trabajo delicado, prevea una iluminación ambiental; proporcione luz directa o localizada cuando deba realizar una actividad cualquiera —dibujar, escribir, leer, etc.— colocando los focos luminosos de manera que no deslumbren.

...EN CADA ZONA DE TRABAJO UN ALUMBRADO LOCALIZADO. EVITE EL DESLUMBRAMIENTO

Un foco luminoso situado en la línea de visión causa mucha fatiga por deslumbramiento; aun sin estar colocado ante nuestros ojos, la luz puede reflejarse en los objetos brillantes e incomodarnos.

Este inconveniente puede evitarse empleando pantallas. Las hay lo suficientemente translúcidas como para que reduzcan la cantidad de luz y la distribuyan, no obstante, de forma apropiada.

El contraste entre una luz y su fondo puede deslumbrar. Si el color de la pared es oscuro, la luz deslumbrará con toda seguridad. Las pinturas brillantes producen zonas resplandecientes, mientras que las mates permiten su distribución sin sombras duras.



Un foco luminoso colocado en la línea de visión fatiga por deslumbramiento.

ILUMINE SUFICIENTEMENTE . . .

Una habitación mal iluminada es triste, y usted se sentirá triste si vive en ella; de ahí la función fisiológica de la luz. Cada habitación debe disponer de la luz suficiente para llenar la estancia por completo y con uniformidad, permitiendo que los colores luzcan como en pleno día.

. . . PERO SOBRE TODO ILUMINE RACIONALMENTE . . .

No crea que tiene buena iluminación porque del centro del comedor pende una gran lámpara. Utilice de preferencia pequeños focos luminosos (lámparas, apliques, etc.), distribuidos de forma tal que el alumbrado sea más uniforme y de efecto más agradable.

. . . EVITE LOS CONTRASTES

... excesivos que fatigan los ojos. Su libro, su ganchillo, su máquina de escribir, etc., deben estar bien iluminados, sin que la luz se concentre demasiado sobre su trabajo. Una página blanca iluminada con vigor dentro de un ambiente sombrío, produce deslumbramiento. Emplee una lámpara de alumbrado difuso y colóquela por encima de su trabajo a bastante altura (unos 80 cm); o colóquela a su izquierda, pero... NO COLOQUE NUNCA UN FOCO LUMINOSO DETRÁS DE USTED.



No coloque ningún foco luminoso a espaldas del trabajo que está realizando.

EL ALUMBRADO DEBE SER VARIADO . . .

El alumbrado debe ser lo bastante variado como para corresponder a las diferentes actividades que se realizan en una vivienda. En muchas ocasiones la diversidad de alumbrados en una habitación se ha visto frenada por razones como la de que no existen suficientes tomas de corriente bien distribuidas en la pieza. Ello no debe ocurrir, ya que si en una misma pieza se realizan actividades diversas, en correspondencia debe existir un sistema de alumbrado para cada una de las actividades principales —consideradas desde el punto de vista óptico-fisiológico—, y en consecuencia deben preverse suficientes tomas de corriente distribuidas de forma racional por toda la estancia que tratamos de iluminar.

A continuación damos una tabla, entresacada de *The Lighting of Buildings*, de los niveles de iluminación recomendados en habitaciones, los que complementan los generales indicados en la tabla III del Apéndice. 3.º.

NIVELES DE ILUMINACION RECOMENDADOS PARA EL ALUMBRADO DE VIVIENDAS

SALA DE ESTAR	
Trabajos delicados	200-400 lux
Trabajos escolares	100-200 lux
Trabajos de poca duración	50-100 lux
Conversación	alumbrado particular
COCINA	
Sobre la mesa, la cocina o el fregadero	50-100 lux
DORMITORIO	
Alumbrado general	20-50 lux
Cama y tocador	alumbrado local
CUARTO DE BAÑO	
Alumbrado general	50-100 lux
Espejo	alumbrado local
PASILLOS, ESCALERAS	20-40 lux

COMO ILUMINAR. . .

Recibidor

Se recomienda un alumbrado tenue por un aplique orientable, o por dos tubos fluorescentes enmascarados a ambos lados de un espejo suficientemente grande.

Dormitorio

En los dormitorios es aconsejable un alumbrado general de ambientación predominante indirecto, completado por un alumbrado local del tocador; para la lectura, otro dirigido desde la cabecera de la cama.

En dormitorios pequeños será por general suficiente el alumbrado de cabecera y eventualmente el del tocador; lo que no puede aceptarse el de una sola lámpara de alumbrado directo en el centro de la habitación.

Sala de estar

El alumbrado de la sala de estar determina la ambientación de conjunto de un apartamento; es decir, el alumbrado de esta pieza hace que nosotros y quienes nos visiten sientan —o dejen de sentir— la comodidad y el ambiente acogedor de nuestro apartamento.

Sala de esparcimiento

Ya que en el apartamento moderno la sala de estar corresponde al rincón de reposo, lectura y esparcimiento de una pieza que comprende también el comedor, en ocasiones separados por un marco, en este apartado consideraremos dicha pieza en conjunto.

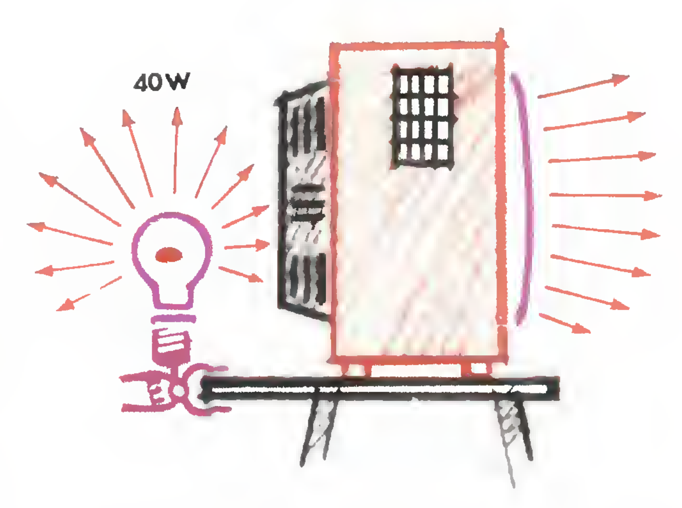
Se trata de obtener un alumbrado de ambientación, aunque evitando la uniformidad. Para ello se alumbra cada lugar según sea su utilización:

— Para la lectura, lámparas orientables o desplazables.

— Para la mesa de trabajo, una lámpara oscilante.

— Tras el receptor de televisión se disimula una lámpara de 40 W, la cual difunde la luz indirecta suficiente para equilibrar la luminosidad de la pantalla sin producir en ésta ningún reflejo molesto.

En contra de una opinión corriente, la mejor forma de presenciar una emisión de televisión, con toda comodidad para nuestra vista, no consiste en dejar a oscuras la pieza. En efecto, el contraste entre la luminosidad de la pantalla y el fondo muy oscuro de las paredes se hace muy fuerte, lo que las condiciones de visión y la percepción de la imagen no son las más adecuadas.



Colocando la lámpara como se ha indicado se observan imágenes perfectamente nítidas en la pantalla.

Comedor

Para la mesa del comedor, un alumbrado predominantemente directo produce siempre sensación agradable, ya que se ponen en valor los colores de la vajilla y la blancura del mantel, aparte de que se ha comprobado que la visión detallada de los alimentos contribuye a una buena digestión.

Focos suspendidos

En la actualidad, la lámpara suspendida constituye un retorno triunfal en la decoración práctica del hogar; y es en el saloncito y en el comedor donde cobra su particular viveza.

Entre los modelos que se hallan en el mercado puede optarse por dos estilos de características diferentes:

El pasado. Quien desea revivir épocas pasadas puede hallar copias modernizadas de lámparas bajo globo opalino con apliques de cobre, las que nos recuerdan la gloria de Venecia, etc.

El presente. Los que aman todo lo moderno aprecian las cristalerías en coloridos inconcretos y refinados, los metales en hojas delgadas y flexibles, la madera trabajada en cintas, los papeles vegetales, los materiales plásticos, etc., y... las figuras donde la forma geométrica se transforma en flor, fruto, pájaro. Una indicación útil: la mayor parte de estas formas modernas se adaptan bien a los interiores provistos de muebles antiguos.

Para unos y otros, a continuación damos algunas sugestiones en forma desinteresada e imparcial, las cuales constituyen una guía de orientación en la elección de cualquier tipo de lámpara, aunque no sea ni remotamente parecido a los





indicados.. No debe olvidarse que la instalación de una lámpara se traduce siempre en una sensación de comodidad y de refinamiento, sensacion tanto más marcada cuanto más ingeniosa y original sea su disposición.

He aquí varias lámparas suspendidas de pequeño tamaño, en opalino, vidrio de color y metal protegido que no necesitan ningún mantenimiento. Todas ellas pueden ser colocadas sobre mesas bajas en el ángulo de una pieza (saloncito). Las de cristal rojo o anaranjado son adecuadas a maderas de tonalidad clara; con muebles oscuros se preferirán los globos invertidos de metal dorado. *Para la mesa del comedor...* las más adecuadas son las constituidas total o parcialmente de opalino blanco, así como las formas del globo difusor. Un sólo cilindro no produce buen efecto; conviene suspender dos o tres a diferentes alturas.

Las lámparas de la derecha, resultado de formas geométricas combinadas, son de madera laminada de gran ligereza, de metal blanco o blanco y gris, combinados en facetas o alvéolos difusores de aspecto mate satinado. La columna luminosa forma parte de las lámparas de inspiración japonesa fabricadas con vibras vegetales muy resistentes, a las cuales también pertenecen las formas en esfera.

Estas lámparas son muy adecuadas para su colocación sobre mesas bajas. Los cilindros, conos y esferas de madera dan a la habitación una tonalidad dorada muy agradable. El cilindro de facetas blancas es indicado para recibidor y entrada. La columna luminosa tiene su lugar en el ángulo de una pieza o cerca de un mueble de separación entre comedor y salita.

Para la mesa del comedor... se preferirán las lámparas suspendidas de madera en forma de cono y las dos de metal blanco y gris de peso muy ligero.

El espíritu de los mejores artesanos venecianos de otro tiempo se refleja en la magia del dibujo, del color y de la forma de estas lámparas suspendidas modernas. La linterna tipo siglo XVIII (segunda de la derecha, abajo) es adecuada para recibidor con muebles de la misma época y resulta simpática en la habitación de los niños. Los otros tipos convienen a todas las piezas sin excepción.





Para la mesa del comedor... la más indicada es la del globo opalino en cualquier colorido, de gran dimensión, abierto por debajo e interior blanco.

Muchas de estas lámparas forman la serie de las constituidas por vidrio transparente de tonalidad *humo* (fumé), que contiene otra forma blanca o coloreada y da efecto de riqueza por un procedimiento simple. Con ellas se obtienen iluminaciones tenues, muy agradables para el alumbrado ambiental del salón, encima de una mesa baja o para alumbrado localizado cerca de cómodos sillones.

Para la mesa del comedor... el pasado y el presente se conjugan en las dos lámparas reflectoras que muestra el dibujo, las cuales deben poseer la propiedad de no deslumbrar por reflexión sobre los cubiertos colocados encima de la mesa. Lá de la derecha reproduce uno de los modelos de principios de siglo y cobra realce en unión de muebles coloniales modernos o antiguos; la otra, la cuarta de la derecha, de estilo moderno, formada por dos reflectores combinados, permite mayores aplicaciones y conviene a todos los estilos. (Si está dotada de un contrapeso puede situarse a la altura que se considere más conveniente).

Estos modelos evocan una piña, las alas de una mariposa, las geométricas de revolución de juegos complicados. En opalino, metal ligero, cobre pulido en coloridos tenues, con reflejos cambiantes y una perfecta difusión de la luz, todo ello contribuye a que las formas variadas de estos tipos se adapten a todos los casos y también a... LA MESA DEL COMEDOR.

De la revista pasada a modelos tipo de lámparas suspendidas, cabe preguntarnos si este género de alumbrado conviene siempre a todas las piezas de una vivienda. Podemos contestar que si, siempre y cuando se observen las tres condiciones elementales siguientes:

1. ELIJASE UNA FORMA CUYAS LINEAS Y CUYOS MATERIALES RESPONDAN AL LUGAR A QUE VA DESTINADA

Esta condición es de gran importancia, especialmente en lo concerniente a la lámpara para la mesa del comedor. Del conjunto de las actuales fabricaciones de lámparas, siempre se destaca un modelo que conviene mejor a este caso particular; en las anteriores figuras se han señalado los modelos más significativos.

Ejemplo: la necesidad de una difusión circular de la luz, encima de la mesa del comedor, nos invita a elegir los modelos de forma esférica o de pirámide de base ancha o los reflectores en forma de domo. En grandes mesas rectangulares puede sustituirse la gran lámpara central por varias más pequeñas espaciadas, con iguales o diferentes alturas de suspensión. Esta sugestión es igualmente válida para las mesas de juego y las mesas bajas de salón, sobre las que interese una iluminación localizada.

2. SACAR TODO EL PARTIDO POSIBLE DE LOS PROCEDIMIENTOS DE ALUMBRADO MODERNOS

Según sea el emplazamiento de la lámpara y según sea el mobiliario a iluminar, aquélla puede permitirse ciertas fantasías que, procurando no constituyan excentricidades, sin duda aportan su personalidad a cada pieza de la vivienda. Encima de la mesa del comedor una lámpara puede subir o bajar a voluntad, gracias al contrapeso disimulado de que están provistas algunas.

Ejemplo: es muy interesante crear en un rincón de una pieza (salita, dormitorio, recibidor, etcétera) una vasta zona luminosa por medio de una lámpara suspendida a metro y medio del suelo. Esta lámpara puede ser de forma cerrada o semicerrada (esfera, cilindro, romboedro, etcétera, pero nunca dotada de un cono reflector), y proporcionará un magnífico alumbrado, a la vez ambiental y local, si se toma la precaución de hacer que los dos muros del rincón (pintados en tonos lo más claros posible) reflejen la luz emitida. Si se añaden flores y plantas, armonizarán magistralmente con el procedimiento descrito, proporcionando una nota de color.

3. SITUAR LA SUSPENSION A LA ALTURA Y EN LUGARES DE FORMA QUE NO MOLESTE AL PASAR

Desde luego, esta regla debe aplicarse a todos los aparatos de iluminación. Pero si una lámpara de pie puede ser contorneada, cualquiera que sea su altura, una lámpara debe estar suspendida a suficiente altura para que todo el mundo pueda pasar por debajo de ella. Esta regla no se aplica para el rincón de una pieza ocupado por una composición decorativa (recordemos el ejemplo anterior), lo mismo que en el caso de la lámpara suspendida encima de una mesa baja.

Ejemplo: estas dos excepciones pueden conciliarse colocando en el ángulo de la pieza una mesa baja, cuadrada o rectangular, acaso adornada con un vaso de flores, situando la lámpara suspendida a 50 cm. Si este conjunto se completa con uno o dos sillones, antiguos o modernos, usted dispondrá de su «rincón» íntimo, tranquilo y cómodo.

COCINA

El alumbrado de la cocina debe proyectarse de forma que la luz se dirija hacia el lugar más útil; es decir, sobre el fregadero, los quemadores, el horno, la mesa de servicios, etc. Al propio tiempo, se recomienda un alumbrado general por medio de un difusor opalino en forma de esfera o similar.

La preparación de los platos también exige un alumbrado localizado y de preferencia con tubo fluorescente, ya que proporciona una distribución luminosa favorable y posee poca luminancia. Asimismo es de gran utilidad iluminar el interior de los armarios.

CUARTO DE BAÑO

En el cuarto de baño se puede disponer o no un alumbrado general difuso, según sean las dimensiones de la pieza. En cambio, el problema delicado del alumbrado de esta pieza es el del espejo, ya que se corre el riesgo de deslumbramiento. En general, la mejor solución se obtiene con alumbrado fluorescente enmascarado con cubierta difusora.



ALUMBRADO PUBLICO

EL ALUMBRADO DE EXTERIORES

Hasta aquí hemos tratado de los conceptos básicos de la luminotecnia y su aplicación al alumbrado artificial de interiores, el cual se basa en recomendaciones y reglas bien determinadas. Sin embargo, el alumbrado artificial también se emplea para otros fines, aunque en otras escalas: el alumbrado de exteriores.

El alumbrado de exteriores comprende, entre otros, EL ALUMBRADO PÚBLICO de calles, plazas, carreteras y autopistas; y además el de campos de deportes, lugares de concurrencia pública, patios industriales, el alumbrado de señalización (para el tráfico aéreo, ferroviario, fluvial, portuario y de carretera), el alumbrado arquitectónico de fachadas, monumentos y jardines y, finalmente, el alumbrado publicitario.

Entre todos ellos, el de mayor aplicación es el alumbrado público, único de que trataremos en esta leccion debido a la limitacion que todo curso básico siempre impone.

En el alumbrado de señalización el objeto y la principal cualidad de los focos luminosos es proporcionar la mayor seguridad posible. Dichos focos deben ser muy visibles y, no obstante, no deben deslumbrar; además la señalización debe ser reconocible gracias a los colores (en carretera, ferrocarril y aviación) o por la repetición del impulso luminoso, como en los faros y otras aplicaciones navales.

En el caso del alumbrado publicitario, el objeto principal es llamar la atención del público en la forma que sea, siempre y cuando no atente a las buenas condiciones fisiológicas ni a la eficacia de los alumbrados de señalización o de seguridad.

Si el alumbrado de señalización y de seguridad debe responder a normas muy estrictas, el alumbrado publicitario permite la máxima expresión de las iniciativas personales.

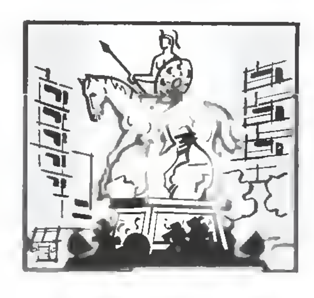
El alumbrado arquitectónico de fachadas, monumentos y jardines está ayudado por la luminotecnia, pero es puro dominio del artista.



Alumbrado de patios de fábricas y construcciones al exterior.



Alumbrado publicitario

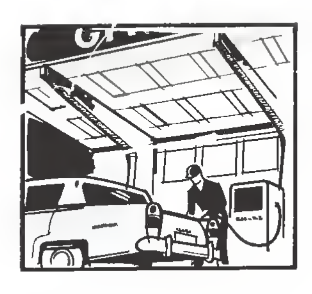


Alumbrado arquitectónico de edificios, jardines y monumentos.

EL ALUMBRADO PUBLICO

Por razones económicas, no es posible iluminar artificialmente toda la superficie terrestre después de la puesta del Sol. De la misma forma que en el interior de los locales sustituimos la luz del día por la artificial, también es posible lograrlo —aunque de una forma muy parcial y muy incompleta— en el alumbrado de las vías públicas.

Teniendo siempre en cuenta el factor económico, el alumbrado público es de tipo localizado y se limita exclusivamente al objeto iluminado. No obstante, siempre se procura iluminar también algo las zonas circundantes con el fin de evitar los molestos contrastes provocados por la oscuridad de los alrededores.



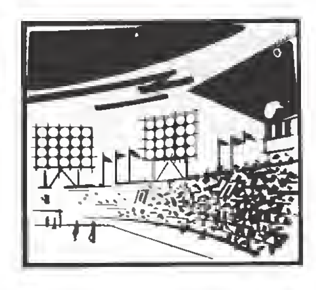
Alumbrado de puestos comerciales al exterior.

Los objetivos principales del alumbrado de calles y carreteras son proporcionar luz para la seguridad del tránsito rodado, guiar al transeúnte y protegerle contra los malhechores y promover el progreso de las zonas urbanizadas. Todos ellos se resumen en el fundamental de producir una iluminación en cantidad y calidad tales que permitan visibilidad cómoda, rápida y segura durante la noche.

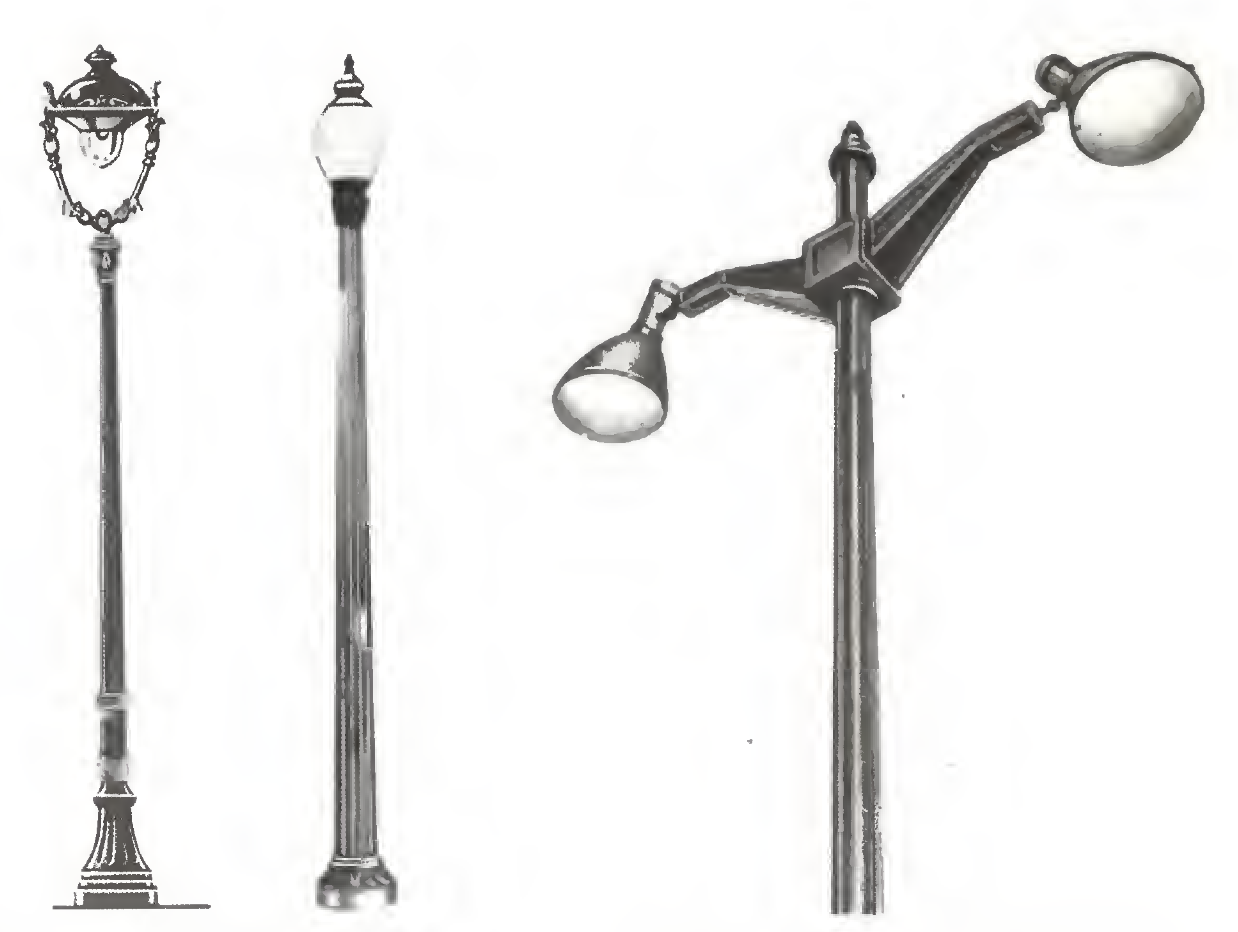


Alumbrado de grandes hangares de aeropuertos y otros.

Las nuevas fuentes de luz, capaces de procurar económicamente alumbrados adecuados, y por otra parte la buena disposición de los poderes públicos para destinar al alumbrado de las aglomeraciones medios económicos más elevados, requieren mayor exigencia y perfección en las instalaciones de alumbrado y, por ende, en su proyecto. Para llevar a cabo una verdadera y buena



Alumbrado de grandes zonas deportivas.



Farolas. Candelabro para alumbrado público.

Farolas para alumbrado público, de hormigón centrifugado.

instalación de alumbrado público es esencial considerar los siguientes puntos:

- La clasificación de la calle o carretera en función del tránsito.
- El nivel adecuado de iluminación correspondiente al tipo de carretera.
- La elección de los focos luminosos con relación a la distribucion luminosa requerida.
- El emplazamiento adecuado de dichos focos (altura de montaje, distancia de separación entre ellos, tipo de soporte, etc.) para proporcionar la uniformidad de iluminación requerida.

Naturalmente, el nivel de iluminación y el carácter de la instalación deben inspirarse en la clase de calle y en el tránsito de vehículos y peatones que la recorre. En consecuencia, el alumbrado público de una aglomeración debe ser objeto de un plan de conjunto que se integre en el plan de urbanización. Las avenidas principales de gran circulación deben, por su magnífico alumbrado, dibujar la osamenta de la ciudad. Las calles comerciales deberán iluminarse con aparatos que no perjudiquen la presentación de los escaparates. En las avenidas dotadas de árboles y jardines, las masas de verdura se realzarán por medio de luminarias adecuadas de forma y altura cuidadosamente escogidas. En las avenidas de barrios residenciales y en las calles secundarias, de circulación puramente local, el nivel de iluminación podrá ser más moderado.

La elección de los focos luminosos y de sus soportes deberá efectuarse en cada caso con gran cuidado, en función de la escenografía urbana del lugar. No se puede iluminar de la misma manera una calle antigua que una avenida moderna.

CLASIFICACION DE LAS VIAS PUBLICAS

Deberá hacerse una clasificación en función del tránsito aplicable a las vias consideradas, sean calles, plazas, carreteras o autopistas, para que el proyecto de alumbrado esté en relación con las necesidades particulares de cada una.

Tal clasificación debe basarse en el tránsito ro-

dado o de vehículos por hora, y además en el de peatones durante las horas nocturnas de mayor actividad:

— Caminos o sendas.
— Vías de tránsito ligero, como el que puede haber en barrios residenciales o zonas de almacenes, autopistas, carreteras, etc.
— Vías de tránsito medio, como las calles de barrios comerciales de segundo orden y calles de zonas industriales.
— Vías de tránsito elevado y muy denso, como el de calles de barrios comerciales y autopistas de entrada y salida de grandes ciudades.

LUMINANCIA DE LAS VIAS PUBLICAS

Es evidente que las exigencias mínimas que debe satisfacer el alumbrado público conciernen a la policía y a la seguridad. Se trata de garantizar a conductores y peatones una buena percepción de los objetos fijos y móviles. Por tanto, el objeto es doble:

— Los conductores, al desplazarse a velocidad razonable, deben percibir rápida y fácilmente no sólo los bordes de la calzada, sino también cualquier obstáculo fijo o móvil situado en ella, o en su proximidad, hasta una distancia que podemos fijar en unos 100 metros en el casco urbano y 200 metros en carretera.
— Los peatones —tanto los que están cruzando la calzada como los que están en el bordillo o junto a él y se preparan para cruzar— deben ver, sin riesgo de error o deslumbramiento, todo vehículo que llegue.

Para conseguir este doble objetivo es necesario que los niveles de iluminación de la calzada sean suficientemente elevados; que presenten uniformidad y, sobre todo, que haya suficientes contrastes de luminancia entre los obstáculos y el fondo sobre los cuales éstos se siluetean.

En la mayoría de los casos los contrastes de luminancia deseados se consiguen por sí mismos sobre el mismo fondo claro de la calzada, ya que por lo general la luminancia de los obstáculos es notablemente más débil que la de aquélla. Debe procurarse que la calzada posea una luminancia suficiente y lo más uniforme posible. Ello depende de la cantidad de luz reflejada por la calzada en dirección al observador, por lo que deberán estudiarse y elegirse las propiedades reflectoras de sus materiales y de su acabado superficial.



Luminarias para alumbrado público especialmente concebidas para tubos floorescentes.

La reflexión por la superficie de la calzada de la luz emitida por los focos luminosos se puede realizar por reflexión regular o especular, por la cual el ángulo de incidencia es igual al de reflexión (es el caso de un pavimento pulido y húme-



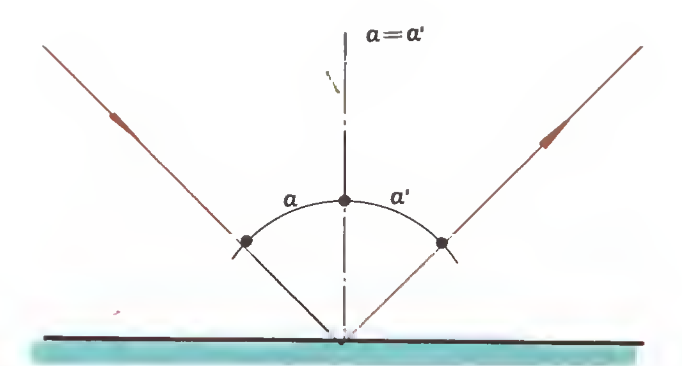
Luminarias especialmente concebidas para lámparas de vapor de mercurio.

do), o bien por reflexión difusa (suelo mate, arenoso, con grava o nevado).

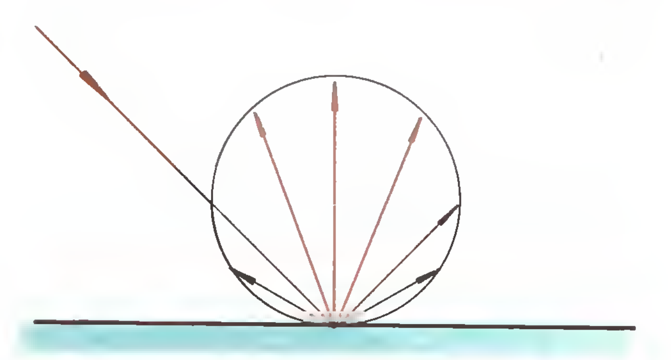
Cuando una superficie es perfectamente difusora, su luminancia es independiente del ángulo de incidencia de la luz que recibe y de la dirección de observación. En este caso la uniformidad de iluminación tiene por consecuencia la igualdad de luminancia de la superficie.

Desde el punto de vista de su alumbrado, los mejores pavimentos son los claros y ligeramente rugosos (calzadas con irregularidades de un milímetro). No obstante, tales pavimentos no son frecuentes en la practica actual; además en muchos casos, debido a la densidad de tránsito, la calzada queda oculta por los vehículos. Debido, pues, a que los pavimentos usualmente adoptados no son perfectamente difusores, se formarán sobre ellos manchas brillantes debidas a la imagen reflejada de los focos luminosos, las cuales debe procurarse sean lo más extensas posible, poco distanciadas y poco deslumbradoras.

En el caso citado de que en la práctica la calzada no sea visible por la densidad de circulación, los obstáculos (especialmente los vehículos) cesan de verse por contraste sobre la calzada y solo son visibles gracias a los contrastes de luminancia entre unos y otros y a la que el alumbrado público confiere a sus partes anterior y posterior. Tal cosa obliga al empleo de elevados ambientes luminosos de gran uniformidad.



En la reflexión especular el ángulo de incidencia es igual al de reflexión.

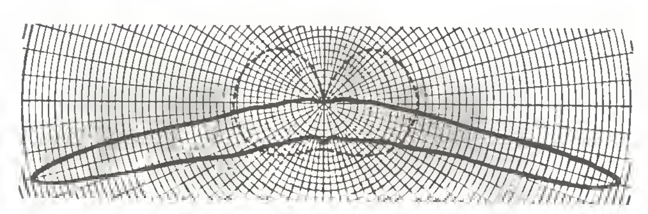


En la reflexión perfectamente difusa el valor de la luminancia es independiente del ángulo de incidencia y de la direción de observación.



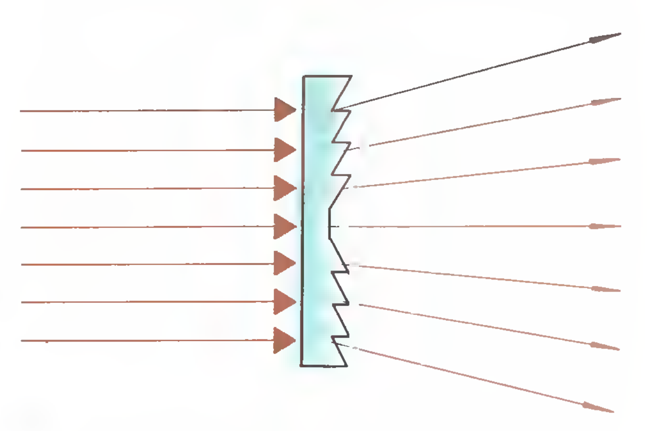


Refractor para colocar dentro globo opalino.



Curva de intensidades de un refractor globo.

El cristal interior está provisto de prismas horizontales refractantes, enviando la luz en una dirección que forma un angulo de 70° a 80° con la vertical.
El cristal exterior contiene unos prismas verticales que difunden los rayos que provienen del cristal interior y evitan el deslumbramiento.



Refracción de la luz por cristal prismático.

NIVEL DE ILUMINACION EN CALZADAS

El nivel de iluminación adecuado para cada tipo de calle o carretera se da a título orientativo en la tabla adjunta. En realidad se trata de niveles mínimos para obtener un buen alumbrado público de tipo normal. Debe señalarse que en alumbrado público es frecuente indicar principalmente el flujo luminoso por unidad de superficie (lumen/m²), denominado también densidad de flujo.

Para obtener valores suficientes en el esplendor de las calzadas, es necesario prever para las de revestimiento oscuro densidades de flujo superiores a las que convienen a las calzadas con revestimientos claros.

El nivel luminoso mas bajo en cualquier punto del pavimento no debe ser nunca inferior a ¼ del citado en la tabla. Esto se aplicará a todas las carreteras, excepto a las recorridas por tránsito muy bajo, en cuyo caso puede ser admisible 1/10 de iluminación de la tabla.

NIVEL LUMINOSO Y DENSIDAD DE FLUJO

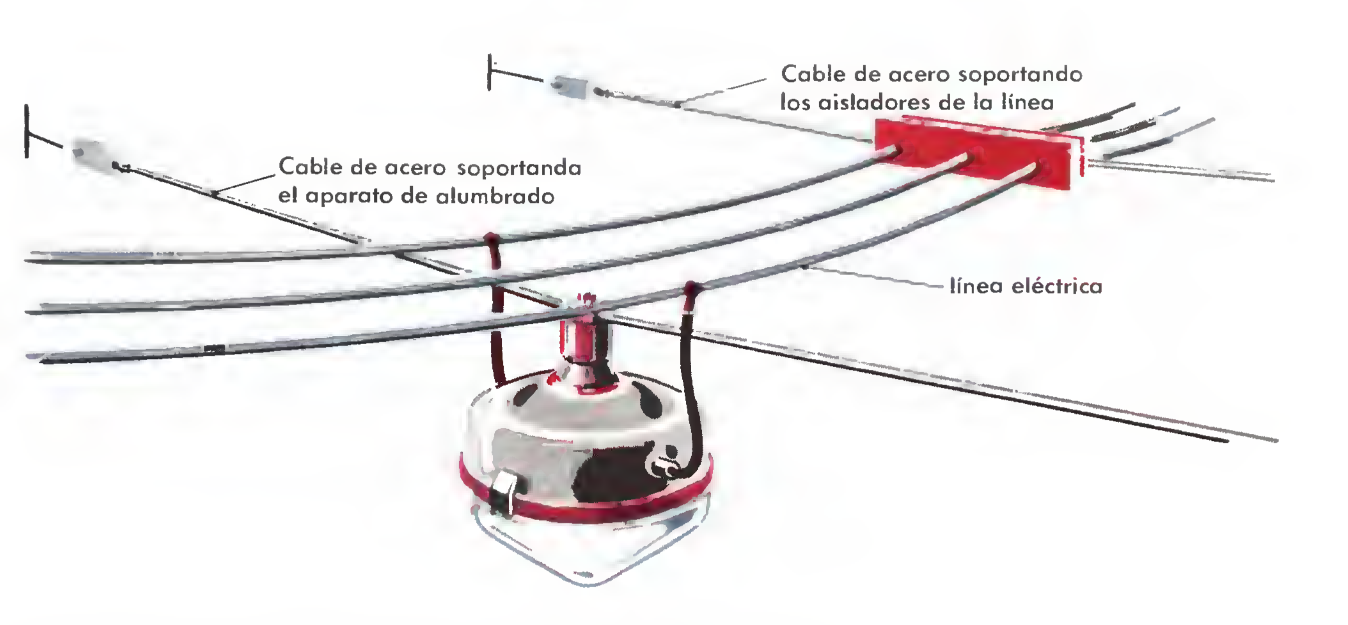
Clasificación de la vía	Calzada clara		Calzada oscura	
	Nivel luminoso (lux)	Densidad de flujo (lm/m²)	Nivel luminoso (lux)	Densidad de fluja (lm/m²)
Tránsito denso	15	35 a 75	30	75 a 150
Tránsita elevado	8	20 a 40	15	35 a 75
Tránsito medio	4	10 a 20	8	20 a 40
Poco Tránsito	2	5 a 10	5	15 a 25
Calles secundarias, caminos y sendas	1,5	3 a 7	2	5 a 10



Luminaria diseñada para calles residenciales, parques y jardines, etc.

Aparato proyectado para suspensión sobre el centro de la calzada de calles estrechas y no muy anchas.

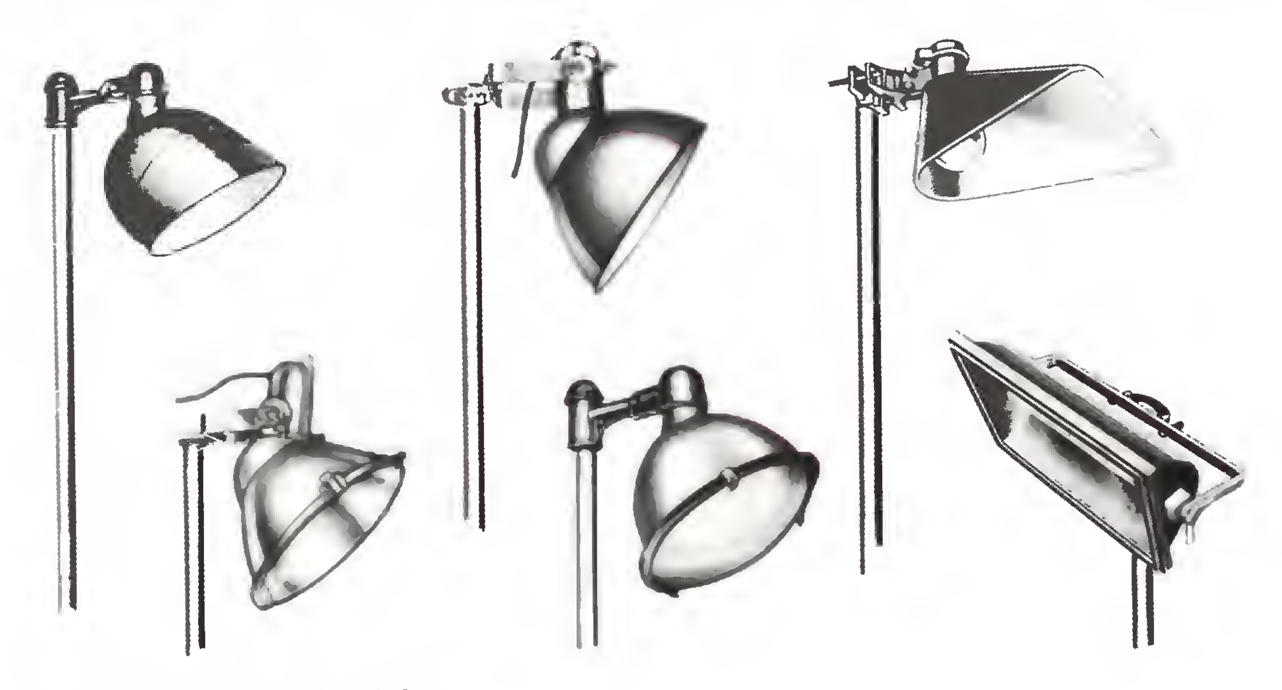




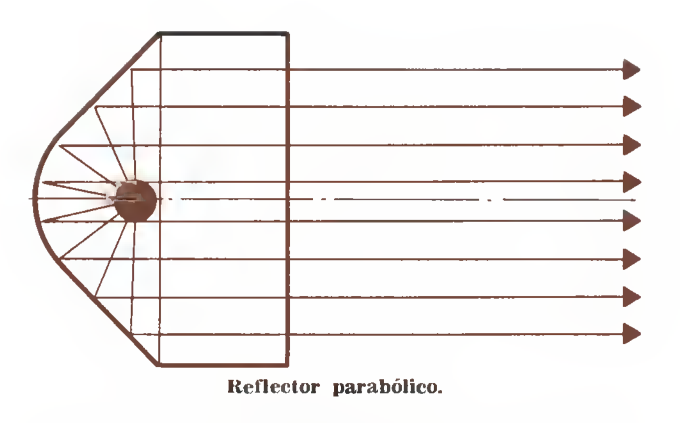
ELECCION DE LOS APARATOS DE ALUMBRADO

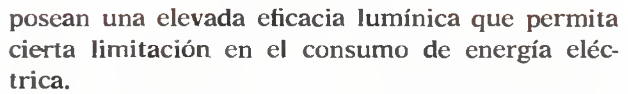
Las fuentes luminosas empleadas para el alumbrado público son las incandescentes, las de vapor de mercurio, las de sodio y las fluorescentes. Cualquiera de ellas proporciona resultados excelentes si se utiliza en forma adecuada. La consideración fundamental al seleccionar aparatos de alumbrado dotados de lámparas de cierto tipo es su distribución fotométrica, con vistas a procurar la cantidad y uniformidad de iluminación deseada, además de crear buenas condiciones ambientales en los alrededores. La elección entre sistemas que cumplan estos requisitos se realiza, por lo general, teniendo en cuenta su aspecto y el coste relativo.

El tiempo total de utilización de una instalación de alumbrado público que preste servicio desde la puesta del Sol hasta su salida puede estimarse en unas 4000 horas al año. De aquí la conveniencia de emplear lámparas de larga duración, con el fin de evitar continuos reemplazos, y que

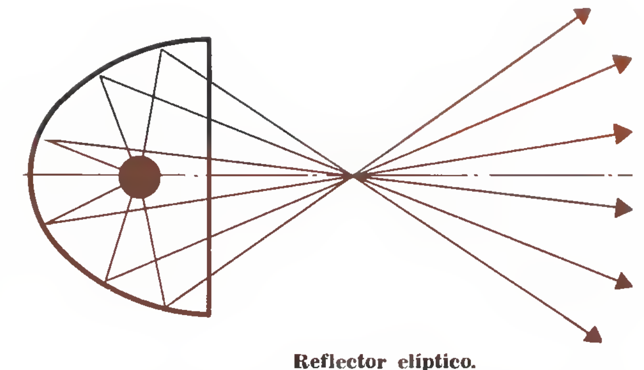


Reflectores para alumbrado público.





Reflector parabólico.



Reflector elíptico.

posean una elevada eficacia lumínica que permita cierta limitación en el consumo de energía eléctrica.

En lecciones anteriores describimos las características particulares a cada tipo de lámpara; aquí sólo recordaremos las diferenciaciones más importantes:

INCANDESCENCIA

Agradable color de la luz (cálido).
Bajo precio de coste de las lámparas.
Economía de accesorios, por no ser necesarios.
Bajo rendimiento lumínico.
Duración o vida útil de sólo unas 1000 horas.

DESCARGA (lámparas de vapor de sodio, de mercurio de color corregido, mixtas de incandescencia, vapor de mercurio, tubos fluorescentes de baja y media tensión, etc.).
Larga vida útil (varios miles de horas).
Elevado rendimiento lumínico.

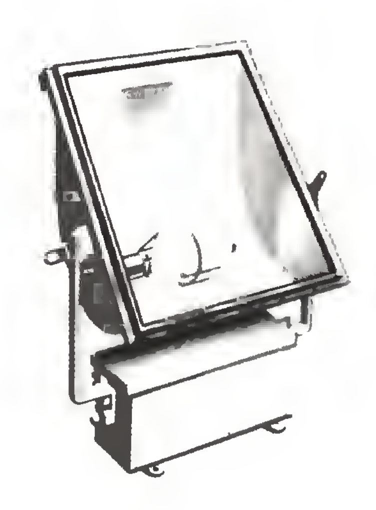
Para una misma potencia, que una lámpara incan 'escente, el flujo luminoso emitido es:

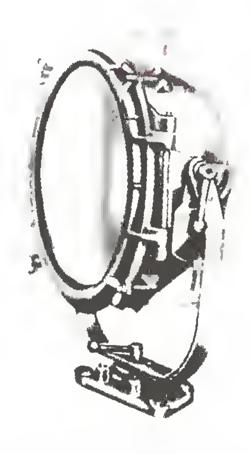
2 veces más elevado con lámparas de «balón fluorescente» o de mercurio de color corregido.
2'5 veces más elevado con tubos fluorescentes.
3'5 veces más elevado con lámparas de vapor de sodio.

En contrapartida de la economía que indudablemente se obtiene, a pesar de su precio más elevado y de necesitar accesorios, estas lámparas tienen en su mayoría el defecto de cambiar la tonalidad de los colores.

La luminaria o aparato de alumbrado es el equipo o conjunto que responde a la doble función de dirigir convenientemente el flujo emitido por la fuente productora de luz y de protegerla de los agentes atmosféricos. En el alumbrado público, salvo casos excepcionales (alumbrado de fachadas, pasajes subterráneos, plazas o jardines públicos, etc.), se emplean del tipo directo, es decir: que en principio dirigen hacia el suelo, por lo menos, el 80 % de su flujo luminoso.

Los reflectores, refractores y difusores —o una combinación de estos sistemas— constituyen los sistemas ópticos que tienen por objeto conseguir







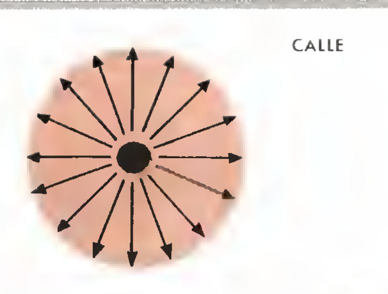
Reflectores herméticos para iluminación de exteriores (fachadas, monumentos, jardines, etc.) concebidos para su fijación directa al suelo, paredes, etc.

la repartición deseada del flujo luminoso. Esta distribución luminosa puede producir sobre la calzada una zona iluminada de forma muy variada a voluntad: circular, oval, alargada, en cruz, etc. La elección de una distribución u otra depende del área a iluminar y de la propia distribución de los focos luminosos. El modo de distribución del foco luminoso y la uniformidad de iluminación conseguida están íntimamente ligados al valor de la relación entre distancia y altura de los focos.

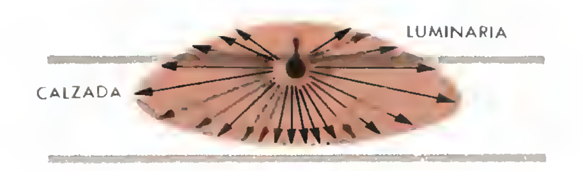
Dentro de una misma luminaria o aparato de alumbrado, según los casos, pueden montarse varias lámparas. En algunas ocasiones, para dar tonalidad más cálida a su luz de color no corregido, las lámparas de vapor de mercurio se montan en el mismo aparato junto con lámparas de incandescencia. El color monocromático característico de las lámparas de vapor de sodio (anaranjado) no puede corregirse por ningún método, por lo que su empleo es desaconsejable para el alumbrado de calles y plazas (a pesar de su excelente rendimiento luminoso); sólo se emplean en carreteras, patios de fábricas, etc., en los cuales el color de la luz tiene poca importancia.

Los aparatos de alumbrado que poseen una distribución luminosa uniforme en todas direcciones se denominan APARATOS SIMÉTRICOS. Estos aparatos se reservan para la iluminación del centro de la calle, en las islas centrales y en los cruces, ya que producen mucha iluminación bajo ellos y dejan zonas oscuras en los puntos intermedios entre dos aparatos, lo que produce una notable falta de uniformidad en la iluminación.

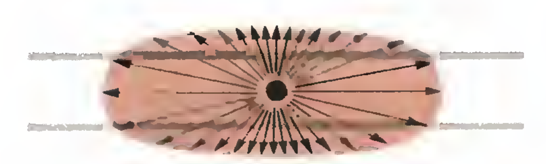
Por lo contrario, para alumbrar calles de anchura no excesiva se emplean los APARATOS DE DISTRIBUCIÓN ASIMÉTRICA, que no se reparten simétricamente a su alrededor el flujo luminoso, sino en las direcciones que más convengan. Los aparatos asimétricos encuentran gran aplicación en el borde de las aceras (distribución oval), en el centro de la calzada (distribución alargada) y en los cruces de calles (distribución en T y en cruz).



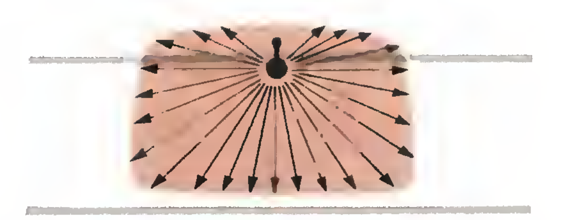
Aparato de alumbrado produciendo distribución luminosa simétrica.



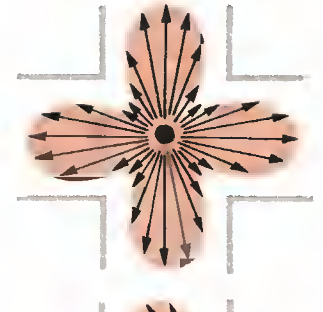
Distribución oval. Aparato de alumbrado para iluminación de calle, colocado en la acera.



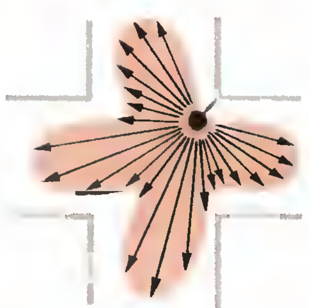
Distribución alargada. Aparato de alumbrado para iluminación de calle estrecha y colocado suspendido o soportado sobre el centro de la calzada.



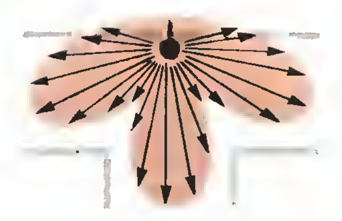
¡Distribución ancha! Para alumbrado de calles muy anchas con aparatos colocados a gran altura y soportados desde las aceras.



Distribución en cruz. Alumbrado de cruce de calles en cuatro direcciones con aparato colocado en el centro del cruce.



Distribución irregular en cruz. Alumbrado de cruce de calles en cuatro direcciones con aparato colocado en una esquina.



Distribución en T. Alumbrado de cruce de calles en tres direcciones con aparato colocado en la acera.

EMPLAZAMIENTO DE LAS LUMINARIAS

Dos consideraciones son fundamentales en la determinación de la altura óptima de montaje de las luminarias: la conveniencia de reducir al mínimo el deslumbramiento directo y la necesidad de una distribución razonablemente uniforme de iluminación sobre la superficie de la calle o carretera. Cuanto más alta esté montada la luminaria, más alejada está de la línea normal de visión y menor es el deslumbramiento que puede producir.

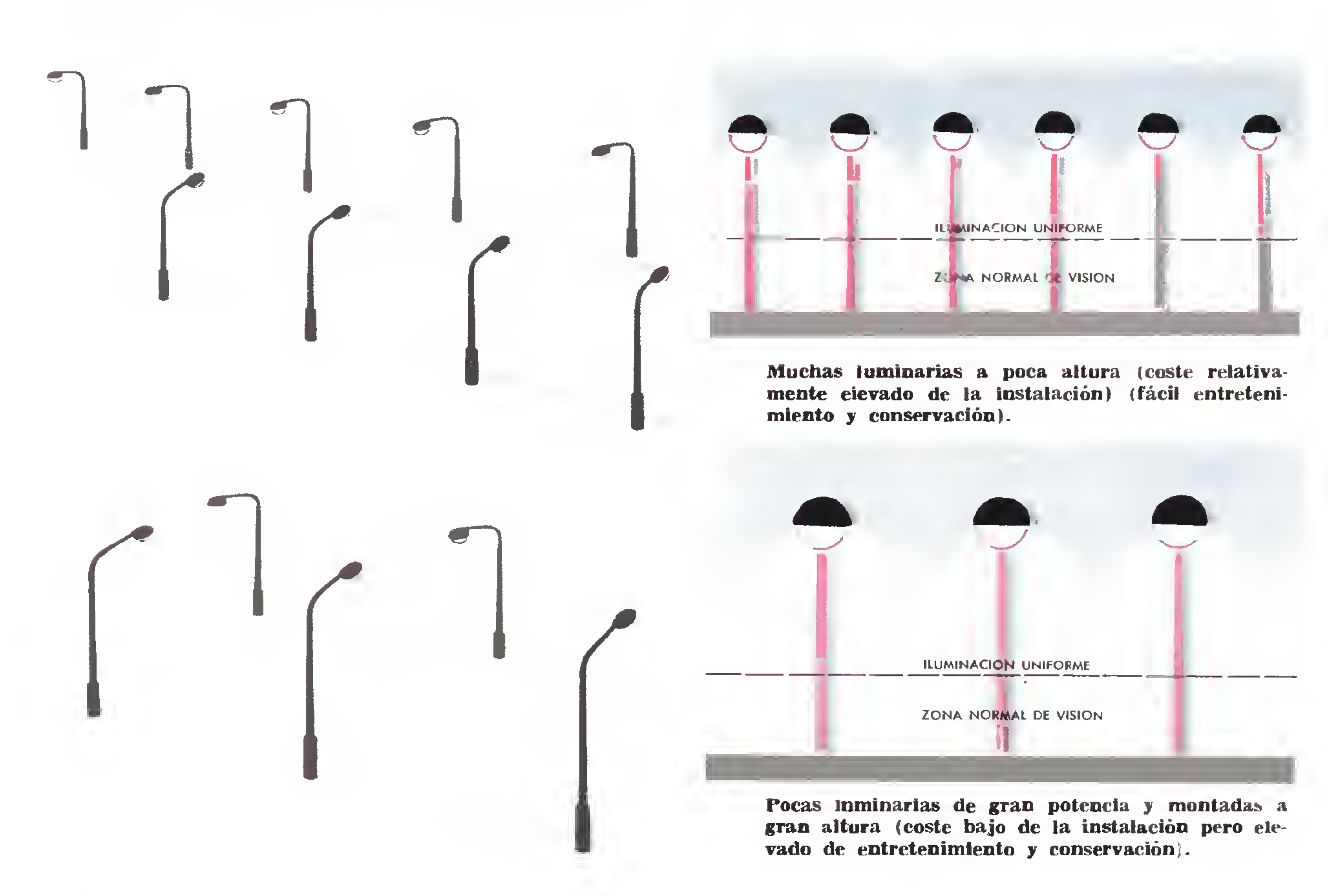
No obstante, para lograr la uniformidad de iluminación requerida es necesario guardar cierta relación entre la altura de montaje, la distancia entre luminarias y el ángulo de emisión luminosa producido.

La regularidad de iluminación y la comodidad visual serán mejores a medida que los focos luminosos estén colocados más cercanos entre sí; es decir, a medida que sea menor el cociente de dividir la altura de montaje entre dicha distancia. Sin embargo, si para reducir el valor de dicho cociente se sitúan muchos focos luminosos a poca distancia unos de otros y suspendidos a una altura regular, el coste de la instalación será elevado; por lo contrario, si para mantener dicho cociente en un valor bajo se adoptan pocos focos luminosos de gran potencia suspendidos a gran altura, el coste de la instalación será menor, pero su entretenimiento y conservación serán mucho más caros por las dificultades de maniobra a alturas que no son fácilmente accesibles. En definitiva, de nuevo la mejor solución debe buscarse por compromiso, basándose en aspectos económicos.

Por lo explicado, en la mayoría de los casos, y por razones de economía, es preciso espaciar los focos de luz, sobre todo en las vías secundarias. Si por razones del lugar a iluminar (arbolado, etc.), o por comodidad de mantenimiento, hay que recurrir a menores alturas de montaje, será necesario reducir la distancia entre focos. La relación máxima aceptable entre la altura y la distancia es más elevada con focos de gran luminancia de flujo luminoso que pueda dirigirse. Es decir, depende de las características relativas al sistema óptico del aparato utilizado.

A título indicativo damos a continuación las relaciones medias más usuales.

Los focos luminosos pueden estar situados en el centro de la calzada o en los laterales.



Muchas luminarias a poca altura (coste relativamente elevado de la instalación) (fácil entretenimiento y conservación).

Pocas luminarias de gran potencia y montadas a gran altura (coste bajo de la instalación pero elevado de entretenimiento y conservación).

Solución de compromiso.



— Número no excesivo pero suficiente de focos luminosos.
— Altura de montaje más elevada posible pero permitiendo una fácil limpieza y reposición de lámparas.
— Distancia razonable entre los focos luminosos.

Tipo de calzada	Altura suspensión / Distancia entre focos
Avenidas principales	3,5 a 4
Calles centrales	4 a 4,5
Calles secundarias	4,5 a 6
Zonas residenciales	4,5 a 6
Carreteras importantes	4,5 a 5
Carreteras secundarias	5 a 7

En el caso de situarlos en el centro o eje de la calzada pueden considerarse las soluciones de suspender los focos por medio de cables o mediante candelabros o postes. La solución de suspender los aparatos mediante cables es poco recomendable, ya que éstos oscilan por la acción del viento, hacen que los vehículos tiendan a circular por el centro de la calzada, las zonas laterales o aceras quedan a oscuras y la conservación queda dificultada por la circulación, a la que a su vez perturba.

La situación lateral puede efectuarse en un solo lado de la calle o en ambos, por parejas o al tresbolillo, siempre según sea el ancho de la calzada. Cuando la anchura de la calle es superior a la altura de los focos luminosos se prefiere la disposición por parejas; en caso de ser inferior se adopta el tresbolillo, y si la calle es estrecha pueden disponerse a un solo lado.

En calles muy anchas se procura que la altura de los focos no sea muy inferior a la mitad de la anchura de la calzada. En las ciudades, la altura de los focos es de unos cinco metros en las plazas, jardines y zonas residenciales, y de siete, ocho o nueve metros en las calles frecuentadas; por excepción se llega a once y doce metros en las grandes avenidas.

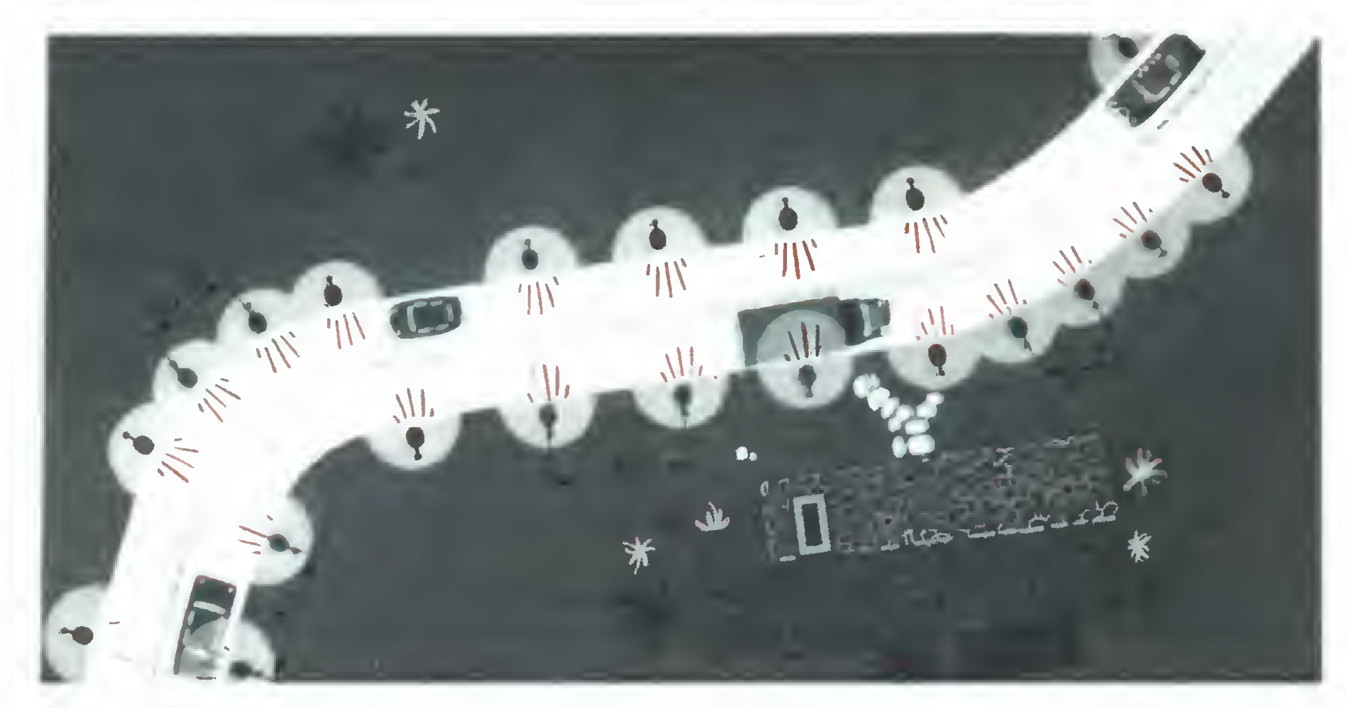
Cable tensor
Conductores alimentación

ALUMBRADO CENTRAL

ALUMBRADO LATERAL

ALUMBRADO AL TRESBOLILLO

ALUMBRADO POR PAREJAS



En las curvas de carreteras y calles los focos luminosos deben situarse en la parte exterior del viraje. Las distancias entre ellos deben ser menores que en el resto de la calle, y serán tanto menores cuanto menor sea el radio de la curva. Es aconsejable que la disposición de los focos sea tal que siempre quede uno frente al campo de visión del conductor del vehiculo.

Es de vital importancia que los cruces estén bien iluminados; para ello, o bien se aproximan más de lo normal los focos luminosos o se aumenta su potencia luminosa. Es preferible colocarlos en las proximidades o esquinas en lugar de en el centro.

En los aparcamientos se procurará que la iluminación sea lo más uniforme posible; el emplazamiento de postes será tal que no estorbe la maniobra de los vehiculos.

En las plazas el nivel de iluminación será, como mínimo, el correspondiente al más elevado de las calles que concurren, poniendo de relieve los parterres y arbolado si existen. La altura de los focos luminosos será, también como mínimo, igual a la de la calle concurrente más importante, ya que, como sabemos, en igualdad de circunstancias las grandes alturas procuran mejor uniformidad de iluminación. La iluminación central, en lo posible, sólo se adoptará como complemento a la circunferencial cuando ésta no llegue a iluminar el centro de la plaza.

En las avenidas con arbolado la iluminación constituye un problema a estudiar detenidamente en cada caso. En el más corriente de que el arbolado ya exista cuando se proyecte la instalación de alumbrado público, las soluciones se adoptarán en función de la altura de dicho arbolado. Los árboles grandes pueden podarse y despejarse hasta una altura de unos ocho metros, situando los focos luminosos bajo aquéllos, intercalados en la misma alineación de árboles. Si, por lo contrario, el arbolado es de poca altura, se adoptarán candelabros de unos diez metros de alto y lo bastante separados de los árboles como para que éstos no den lugar a sombras en la calzada o en los paseos.

OBSERVACIONES ACERCA DE LAS LUMINARIAS

En alumbrado público es preferible emplear los aparatos de distribución extensiva en vez de concentradores. Señalemos, no obstante, que los aparatos para alumbrado público comportan un zócalo ajustable que permite variar la posición relativa de la lámpara con respecto a la pantalla; es decir, permite *enfocarla*, con lo cual puede gobernarse la dirección y la amplitud de la luz.

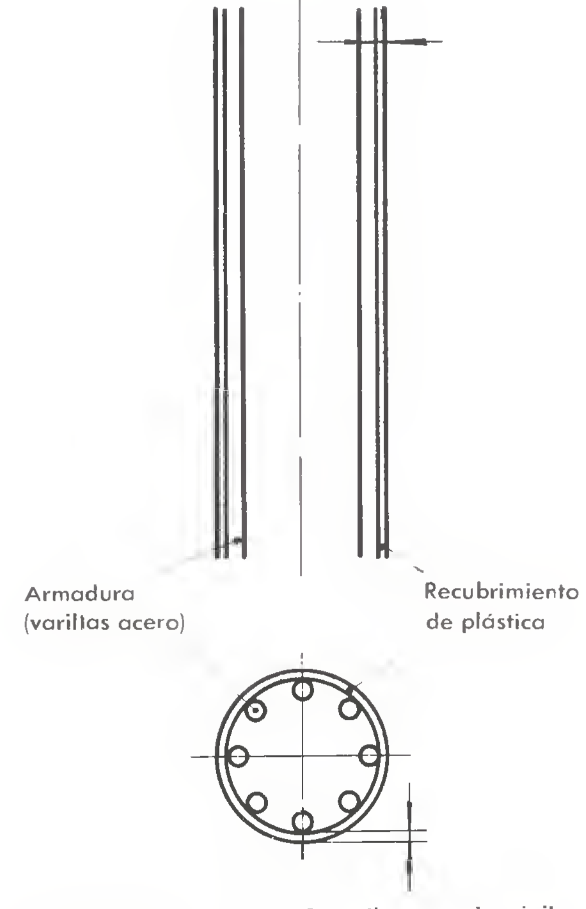
En el momento de escoger un modelo de luminaria no se debe olvidar que la conservación de un aparato de alumbrado público es siempre costosa, por lo que la elección debe recaer en los que reduzcan dicho coste, aunque el de compra e instalacion sean más elevados.

También debe tenerse en cuenta el aspecto estético, tanto de la luminaria como de su soporte, que debe armonizar con la arquitectura y el destino de la calle que se ilumina. Los soportes de las luminarias pueden ser de los siguientes tipos:

— Candelabro metálico (de acero o aluminio; con o sin brazo).
— Candelabro de hormigón.
— Candelabro de material plástico.
— Luminaria vertical.
— Repisas y apliques de fachadas.
— Suspensiones centrales.

Señalemos la particularidad moderna en el empleo del policloruro de vinilo puro (PVC) para la fabricación de soportes para alumbrado y tendido de líneas. Estos soportes son ligeros, esbeltos y de fácil colocación; al mismo tiempo ofrecen gran seguridad, que es factor primordial en los lugares públicos, donde el roce o el choque de cualquier vehículo no debe producir su derrumbamiento en la mayoría de los casos. Por otra parte, su conservación requiere un mantenimiento mínimo. Estos postes están constituidos por un armazón de varillas de hierro recubierta por una envoltura de PVC. Por ser estable hasta los 200° C en estado puro, y como se trata de un poste armado interiormente por elementos metálicos resistentes a la flexión, puede colocarse en cualquier clima o ambiente. Una capa de PVC de 2'5 mm es suficiente para proteger contra la corrosión, mientras que empleando cemento la capa debe tener un grueso mínimo de 25 mm (diez veces más); a pesar de lo cual el cemento acaba cuarteándose y por las grietas originadas se produce la oxidación de las varillas del soporte.

Además, el gran poder aislante del PVC representa una seguridad para los transeúntes.



Poste de PVC armado (de policloruro de vinilo puro rígido).
Sus ventajas son:
— Resistencia a los agentes atmosféricos.
— Aspecto atractivo y acabado perfecto.
— No absorbe ni retiene la humedad.
— No necesita pintura para su conservación
— Colorido estable.
— Esbeltez y ligereza.
— Resistencia al choque.
— Coste reducido y larga duración.

ALIMENTACION DEL ALUMBRADO PUBLICO

La corriente destinada a la alimentación de los focos puede suministrarse en alta y en baja tensión. Según sea el tipo de instalación, los focos pueden ser alimentados por una red independiente de alumbrado publico o directamente por la red general de distribución; tanto en un caso como en otro, la apertura y cierre del alumbrado puede hacerse manual o automáticamente —por medio de relojes-interruptores horarios, por relés, por contactores o electrónicamente por células fotoeléctricas excitadas por la luz diurna—.

Por lo general las maniobras se efectúan por mando centralizado a distancia, sea cual fuere el tipo de automatismo adoptado.

EJEMPLO DE ILUMINACION DE UNA CARRETERA

Consideremos una carretera con calzada de 15 m de anchura por la que ha de circular un tránsito de vehículos de 150 a 500 vehículos/hora y un tránsito de peatones que puede considerarse ligero. Por sus características, esta carretera podría ser la de acceso a alguna capital de provincia.

Puede considerarse de tránsito medio; y suponiendo que la calzada no es ni demasiado clara ni demasiado oscura, el nivel luminoso recomendado será de 6 lux y una densidad de flujo luminoso de 20 lumen por metro cuadrado.

$$E_{medio} = 6 \text{ lux}$$

$$\frac{\Phi}{S} = 20 \text{ Lm/m}^2$$

Elegimos el alumbrado directo, con postes del tipo y dimensiones indicadas en la figura adjunta.

Las luminarias escogidas son del tipo de distribución oval, dotadas de lámparas incandescentes de 300 W.

El conjunto lámpara-armadura produce un flujo luminoso de 6000 lumen.

$$\Phi = 6000 \text{ lumen}$$

Suponiendo una limpieza cada dos años, el factor de depreciación puede considerarse en

$$d = 1'5$$

En este caso el índice del local se denomina ÍNDICE DE ESPACIO y vale:

$$K = \frac{b}{n}, \text{ siendo}$$

b = anchura de la calzada
n = altura de la luminaria

$$K = \frac{15}{7'5} = 2$$

Para la disposición de los focos luminosos, y teniendo en cuenta la anchura de la calzada, optamos por la distribución al tresbolillo.

Suponemos un rendimiento luminoso, obtenido por la tabla del Apéndice, de n = 0'45, de donde,

$$\Phi = \frac{E \times S}{n} \times d$$

l = distancia entre luminarias.

Es decir, la superficie a iluminar por cada lámpara recibirá un flujo luminoso bruto de:

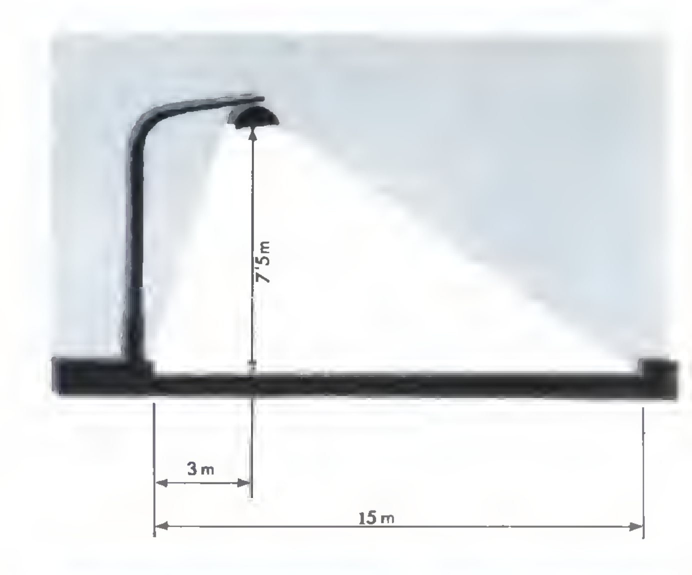
$$\Phi = \frac{E \times b \times l}{n} \times d$$

$$\Phi = \frac{6 \times 15 \times l}{0'45} \times 1'50 = 6000$$

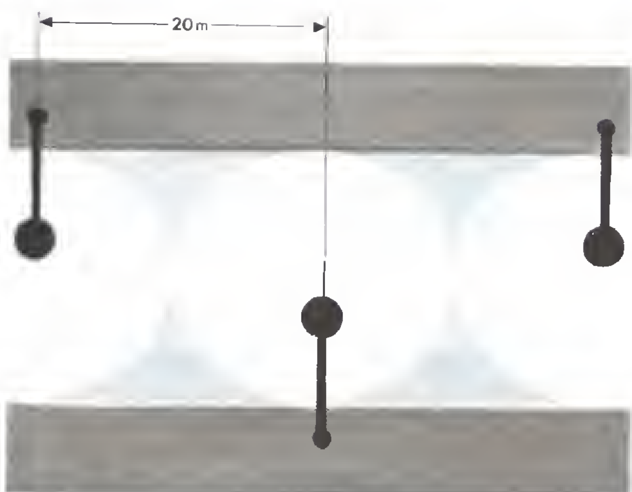
para l = 20 metros.

Separación entre luminarias = 20 metros, que corresponde teóricamente a la densidad de flujo de

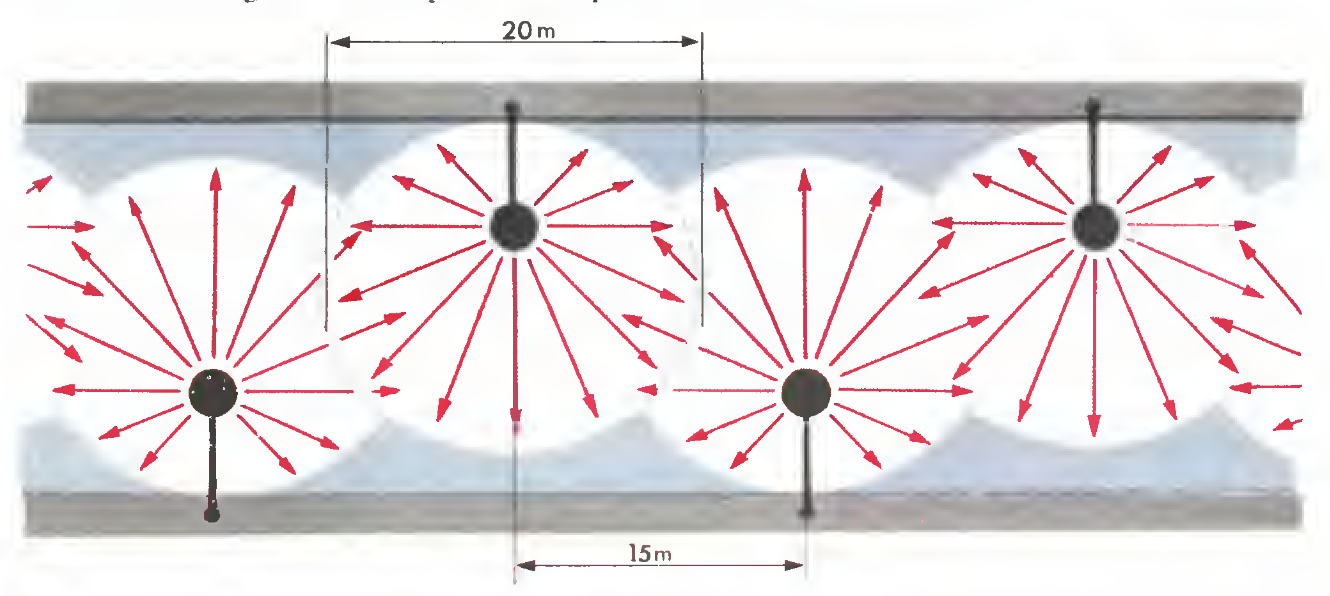
$$\frac{\Phi}{S} = \frac{6000}{20 \times 15} = \frac{6000}{300} = 20 \text{ lm/m}^2$$







No obstante, una separación de sólo 20 m equivale a decir que los haces luminosos de las lámparas serán tangentes entre sí, dando lugar con ello a zonas contiguas oscuras; y como siempre es conveniente cierta superposición de los haces para obtener mejor uniformidad de iluminación, adoptaremos una separación entre lámparas de 15 metros.

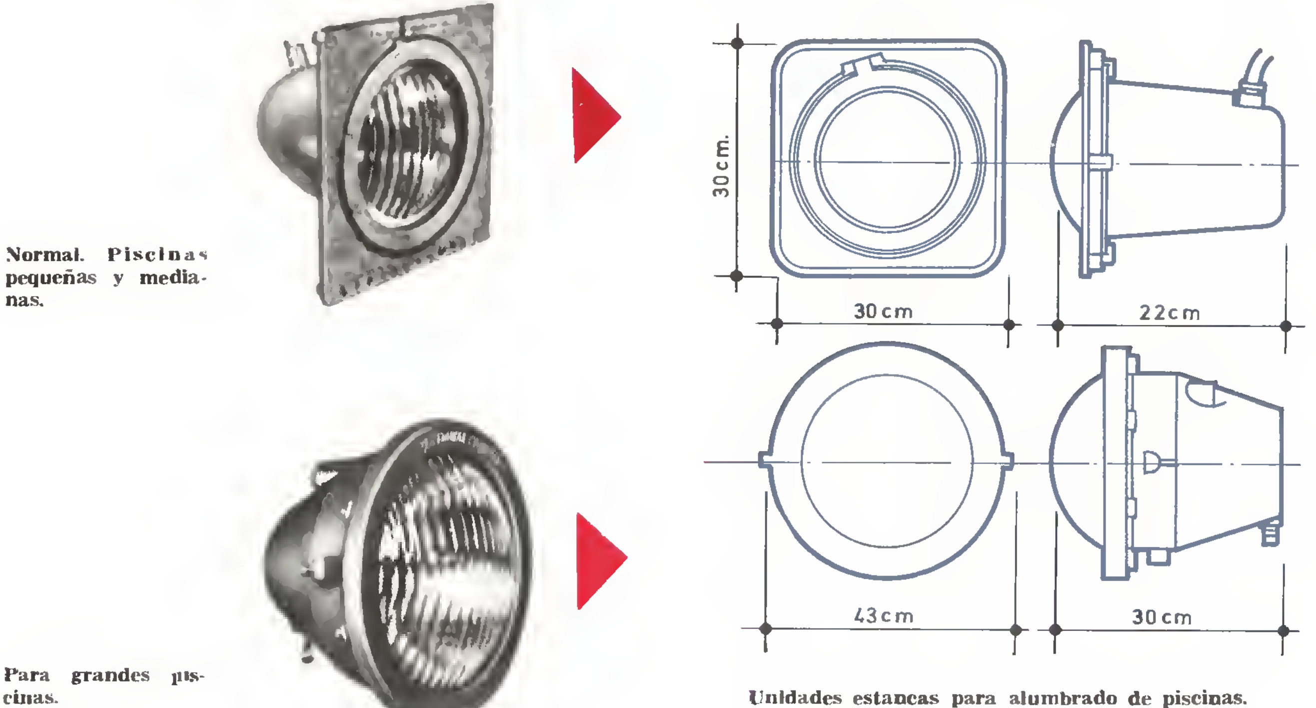


ILUMINACION DE UNA PISCINA

Para terminar con nuestra exposición de la técnica de la iluminación o luminotecnia, daremos unas indicaciones sencillas para un caso poco corriente de alumbrado: el de una piscina, que servirá como muestra de las innumerables aplicaciones de esta técnica.

Para la iluminación bajo el agua deben escogerse aparatos de alumbrado y accesorios completamente estancos, de gran garantía para su servicio y de fácil mantenimiento y sustitución.

A título orientativo, la figura inmediata muestra dos reflectores indicados para estos fines.

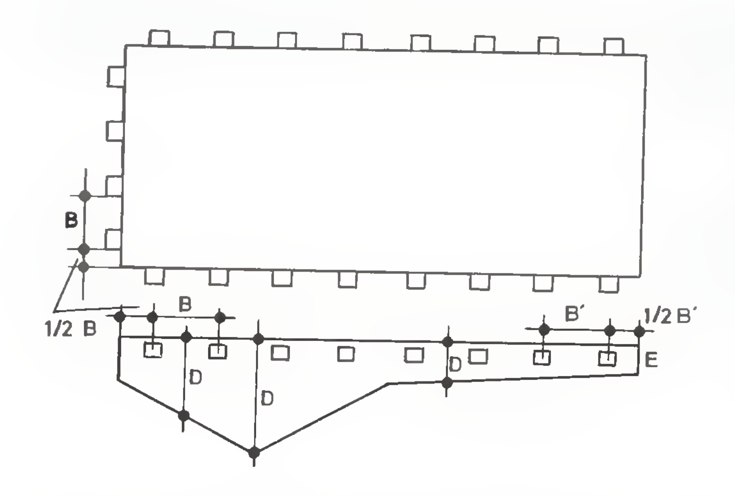


Normal. Piscinas pequeñas y medianas.

Para grandes piscinas.

Unidades estancas para alumbrado de piscinas.

La distribución de los aparatos de alumbrado dentro de una piscina se efectuará según indica, en términos generales, la figura siguiente:



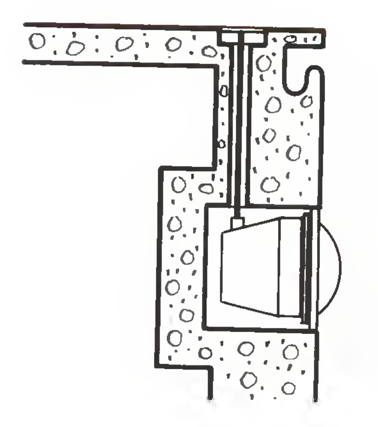
B = distancia entre focos en la zona profunda.
D = profundidad de la piscina.
E = altura desde el centro óptico de los focos a la superficie del agua.
B' = distancia de los focos en la zona poco profunda.

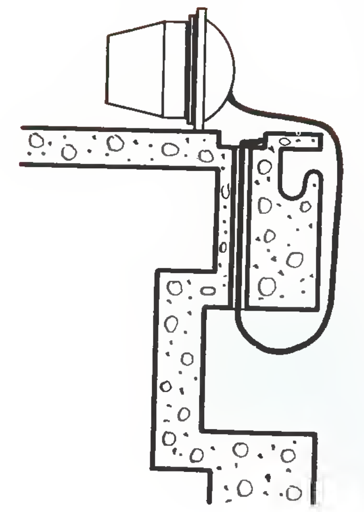
Los aparatos de alumbrado pueden disponerse en huecos practicados en las paredes de la piscina, salvo en el lado de menor profundidad.

Por regla general, se adoptará una potencia instalada de 50 W (30 como mínimo) por metro cuadrado de superficie de la piscina cuando deba ser cubierta, y de 30 W/m² (15 como mínimo) cuando esté al aire libre. Partiendo de esta premisa, y teniendo en cuenta la disposición de la anterior figura, la mejor práctica puede resumirse en los valores de la tabla siguiente:

Tipo	Potencia de cada foco luminoso	Distancia B (cuando D es superior a 1,5 metros	Distancia B' (cuando D es inferior a 1,5 m)	Altura E por debajo de la superficie del agua)	
				mínimo	máximo
(A)	250 a 400 W	2,5 m	3 m	30 cm	35 cm
(B)	500 a 1.500 W	4 m	5 m	45 cm	60 cm

Montaje y disposición de los focos.





El montaje debe ser tal que permita una fácil limpieza y reposición.

E-23

APENDICE



MATERIALES

Aislantes sólidos minerales
Aislantes cerámicos
Gases aislantes



LECCION Nº 9

conocimiento de materiales

Aislantes sólidos de origen mineral
Aislantes cerámicos. Gases aislantes. Aire

AMIANTO

Es una de las sustancias aislantes más conocidas, puesto que forma parte de la composición de muchos aparatos de uso doméstico, tanto como aislante eléctrico como en su función de aislante térmico. Apenas existen aparatos eléctricos productores de calor que no lleven alguna protección aislante formada por piezas de amianto.

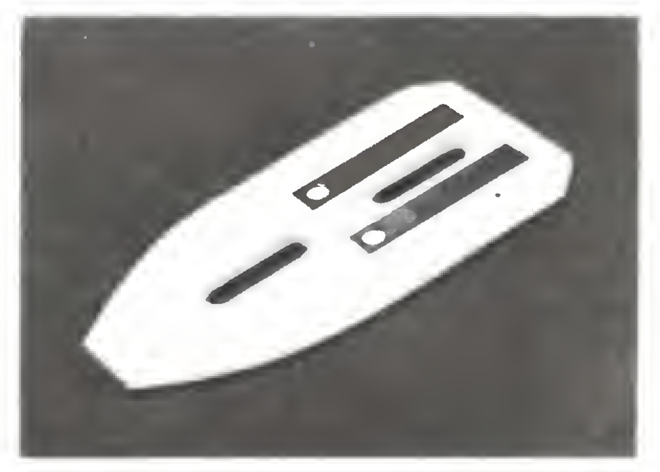
El amianto es un material de estructura fibrosa cuya textura recuerda la de un cartón sin apresto. Es un mineral silícico en cuya composición intervienen los silicatos de magnesio. Los principales países productores son Rusia, Rodesia y Canadá.

Junto a su mala conductividad eléctrica el amianto ofrece la gran ventaja de su buena resistencia térmica; es incombustible aun a muy elevadas temperaturas.

Su temperatura de fusión es de unos 1250° C, lo que lo hace apto como aislante de hilos que deben alcanzar la incandescencia.

El amianto puro tiene el inconveniente de su muy escasa resistencia mecánica, circunstancia que se soslaya conglomerando amianto y cemento. Con este preparado pueden fabricarse piezas laminadas o moldeadas que ofrecen prácticamente las mismas propiedades dieléctricas y de incombustibilidad que el amianto puro.

Cuando se emplea en la modalidad de *amianto solo* se evita su disgregación rodeándole con una tela metálica.



Resistencia aislada con amianto.

La mezcla amianto-cemento es interesante, sobre todo, en aplicaciones de tipo industrial donde es ventajosa la adición de las cualidades mecánicas de ambos ingredientes. El cemento, por una parte, actúa contra los esfuerzos de compresión; por otra, la naturaleza fibrosa del amianto contribuye en elevado grado a aumentar la resistencia del conjunto ante posibles esfuerzos de tracción y de flexión.

Para aumentar las posibilidades de aplicación de estos materiales se fabrican piezas esmaltadas superficialmente, adecuadas para obtener la aplicación funcional propia del material unida a un positivo efecto decorativo.

LA MICA

Es uno de los minerales aislantes más empleados en electricidad y en radio. En sus distintas variedades se presenta bajo el aspecto de unas hojas o láminas que pueden exfoliarse en otras de menor grosor hasta alcanzar espesores insignificantes (0'005 mm).

Se trata de un mineral de sílice en cuya composición entran también hierro, magnesio y compuestos de aluminio y de potasio.

En estado nativo se encuentra en la India y Madagascar. Sus coloraciones son blancas, grises y ambarinas.

La constante dieléctrica de la mica es de 6 a 8, menor siempre para la modalidad ambarina.

La rigidez dieléctrica puede alcanzar valores superiores a los 4000 KV/cm. Los valores máximos corresponden a la mica blanca.

La mica se emplea muchísimo como aislante de resistencias cuyos hilos deben alcanzar la incandescencia, dádo que su resistencia al calor es, como la del amianto, elevadísima.

Sin embargo, cuando las piezas de mica carecen de protección mecánica el calor disgrega con facilidad las distintas láminas que las forman. En el caso de las resistencias los mismos hilos enrollados sobre la mica constituyen la protección mecánica.

Como dieléctrico de condensadores (condensadores de mica) resulta un material muy ventajoso, dada su gran rigidez dieléctrica aun en espesores muy pequeños.

La manipulación de piezas de mica de mediano espesor puede ser muy engorrosa debido a la facilidad con que se desprenden hojas. Para evitarlo las piezas de mica se impregnan con una sustancia conglomerante que al unir entre sí las distintas hojas impide su disgregación. Esta técnica ha dado lugar a productos de mica con denominación propia, entre los cuales citamos:

LA MICANITA

Es un material aislante formado por láminas de mica unidas con goma laca, que aumenta la homogeneidad del material y le confiere propiedades mecánicas, tales como una considerable resistencia a la compresión (40 Kg/mm^2).

Su rigidez dieléctrica es menor que la de la mica pura; su resistividad oscila entre 300 y 2500 $M\Omega/cm/cm^2$.

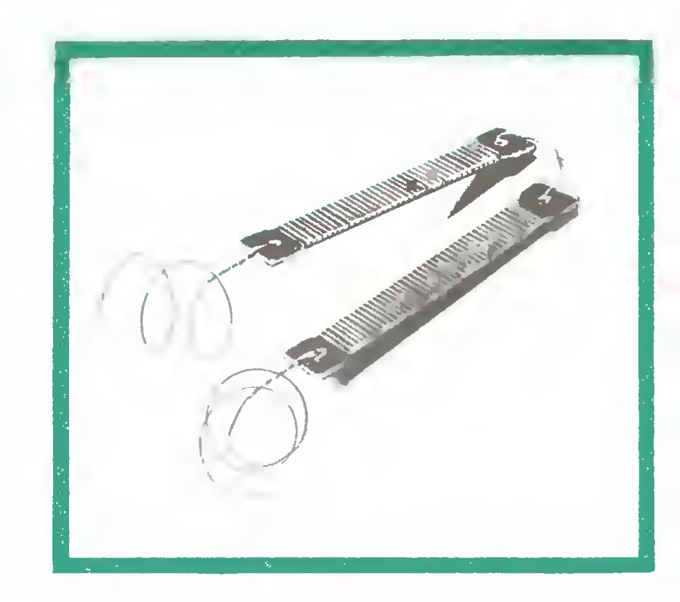
Se comprende que con la micanita no pueden conseguirse láminas tan finas como con el material puro.

Con micanita se aíslan devanados y colectores tanto para corrientes de baja como de alta tensión.

EL MICALEX

Se trata de otro material de mica, obtenido de la mezcla vitrificada por calor de polvo de mica con otros minerales fusibles.

La mezcla se calienta hasta la fusión del vitrificante y se moldea a presión en moldes metálicos, de los que se obtiene la pieza de micalex.



Resistencia bobinada sobre dos bases de mica.

El micalex es un material homogéneo, sin poros, totalmente impermeable e inalterable a los cambios atmosféricos. Es incombustible y admite la colocación de partes metálicas en oclusión, puesto que se sitúan en el interior del molde antes de que en él penetre la mezcla fundida.

Es material que soporta sin deformación temperaturas de unos 400° C. Resiste a tracción esfuerzos de 600 Kg/cm^2 y a la compresión esfuerzos de 1500 a 3500 Kg/cm^2.

Las principales características eléctricas del micalex son:

Rigidez dieléctrica: 15 KV/mm.
Constante dieléctrica: 5 a 7.
Resistividad: 80.000.000 $M\Omega/cm/cm^2$.

Las aplicaciones del micalex son múltiples, sobre todo porque sirve para la fabricación de un amplio surtido de piezas aislantes y componentes eléctricos destinados a recibir fuertes chispazos, tales como bujías para motores de combustión interna, puntas aislantes para colectores, portaescobillas, interruptores para A.T., seccionadores, cajas para fusibles, etc.

Cuando se le añaden limaduras de acero dulce se obtiene un curioso producto que puede adquirir propiedades magnéticas sin perder su condición aislante y que, en forma de pequeñas barras de distintas secciones, tiene utilidad para cerrar las ranuras en los inducidos de máquinas eléctricas, fijando los devanados y permitiendo que el flujo magnético se cierre mucho mejor de un diente a otro, lo que aumenta el rendimiento de la máquina.

CUARZO

El cuarzo es un mineral de sílice que se presenta en forma cristalina muy característica. Los cristales de cuarzo tienen forma prismática hexagonal y terminan en pirámide, también de base hexagonal.

Por fusión de arena siliciosa se obtiene el cuarto fundido.

El cuarzo funde a 1700° C y no se reblandece hasta haber sobrepasado los 1500° C. Como su coeficiente de dilatación es muy reducido soporta grandes variaciones de temperatura sin peligro de rotura o resquebrajamiento de la pieza de cuarzo, lo que representa una positiva ventaja sobre el vidrio, que se rompe con facilidad ante aumentos o descensos demasiado rápidos de la temperatura.

Los cristales de cuarzo presentan la propiedad de ser piezoeléctricos. Es decir: ofrecen distinta resistencia según la presión a que se someten sus caras.

La resistividad del cuarzo es de 50.000.000.000 MΩ/cm/cm² y su rigidez dieléctrica oscila entre 150 y 350 KV/cm.



Cristales de cuarzo.

El empleo del cuarzo es cada día mayor, tanto en aparatos calorígenos como en productores de luz, piezas moldeadas (aisladores, bases para bornes, etc.).



Estufa de infrarrojos con tubo de cuarzo.

VIDRIO

Pese a su característica fragilidad, el vidrio es uno de los materiales de obtención artificial más antiguos y útiles de cuantos ha conseguido fabricar el hombre.

Desde el punto de vista que nos interesa — sus aplicaciones eléctricas — tiene interés por múltiples aspectos siempre relacionados con sus propiedades dieléctricas.

El vidrio se obtiene al fundir arena fina con sosa, potasa, cal, alúmina y óxido de magnesio. Es un producto de homogeneidad perfecta (y por tanto no higroscópico) y de textura transparente, lo que deja apreciar a simple vista las posibles impurezas y defectos que contiene.

Las coloraciones que puede presentar el vidrio se obtienen al añadir a la mezcla en fusión diversos óxidos metálicos, según sea el matiz deseado.

El vidrio es un buen dieléctrico; pero sus cualidades aislantes disminuyen con la temperatura y la humedad del aire, que eleva la conductividad

superficial. Este valor (conductividad superficial) depende directamente de la cantidad de sosa o de potasa que entre en la composición del vidrio.

Es muy escasa la resistencia del vidrio ante los esfuerzos de tracción (de 5 a 10 Kg/mm^2) y mejor para esfuerzos de compresión, entre 65 y 120 Kg/mm^2.

Un dato muy interesante, en vistas a la aplicación del vidrio en la construcción de componentes eléctricos, es su coeficiente de dilatación. La importancia proviene del hecho de que el vidrio permite la oclusión de conductores que se introducen en la pieza cuando está en fusión dentro del molde y quedan perfectamente soldados con él. Tal es el caso de los conductores de los filamentos de las lámparas incandescentes, de los aisladores de paso estancos, etc. En estos casos el vidrio y el conductor deberán tener idénticos coeficientes de dilatación, puesto que de lo contrario se producirían en el material esfuerzos antagónicos que darían lugar a la rotura del vidrio.

El vidrio puede templarse enfriándolo bruscamente en aceite frío. Templado, resiste mejor los choques; y cuando se rompe lo hace en forma de pequeños fragmentos.

El vidrio resiste todos los ácidos excepto uno: el ácido fluorhídrico, que lo ataca y destruye por completo. De ahí que dicho ácido se emplee para grabar el vidrio.

Los elementos metálicos que puede contener una pieza de vidrio moldeado suelen ser aleaciones de hierro, níquel y cromo, cuyo coeficiente de dilatación es muy parecido al del vidrio.

La resistividad del vidrio es de unos 100.000.000 $M\Omega/cm/cm^2$.

Con vidrio se construyen aisladores de muy diversos tipos, entre los cuales tienen un marcado interés los que se incluyen en los transformadores refrigerados con *Piranol*. El vidrio es el material idóneo para ellos, puesto que el *Piranol* disuelve otros tipos de materiales aislantes.

FIBRA DE VIDRIO

Como su nombre indica es un material constituido por vidrio en forma de hilos o fibras que alcanzan secciones de pequeñez inverosímil.

Estos hilos se obtienen a partir de una masa de vidrio fundido a la que a la salida del tramo se le hace pasar por una plancha con taladros finísimos. Para que los hilos tengan una sección menor aún se someten a un proceso de estiraje cuando todavía están calientes.

La fibra de vidrio no es higroscópica y presenta buena resistencia a todos los agentes corrosivos, excepto, claro, ante el ácido fluorhídrico.

La fibra de vidrio no se descompone con el tiempo. En especial se emplea como material de relleno para aprovechar sus propiedades tanto dieléctricas como antitérmicas.

A veces, para evitar que las fibras se rompan debido a posibles frotamientos, se recubren de barniz, lo que las hace capaces de soportar toda clase de vibraciones.

De fibra de vidrio tejida se obtienen cintas aislantes de apariencia sedosa, cuya resistencia mecánica es muy superior a la que presentan las tejidas con las fibras que denominamos textiles.

AISLANTES CERAMICOS
LA PORCELANA

En términos generales se denomina materiales cerámicos a los que adquieren sus propiedades definitivas por un proceso de secado y posterior cocción al fuego. Son materiales que primero han sido una pasta fangosa formada por determinadas tierras y agua; pasta moldeable — caso clásico de la arcilla de escultor — que se endurece por secado lento y que adquiere dureza por cocción a temperaturas elevadas.

El material cerámico más noble es la porcelana, la cual es una mezcla de arcilla, caolín, cuarzo y feldespato. Algunas veces se añade, como fundente, algún óxido metálico.

Esta mezcla se somete a un proceso de cocción a unos 1400° C. Se obtiene una tierra que cuando se mezcla con agua es altamente plástica y vitrificante. Con esta pasta se moldean piezas cerámicas, las que una vez secas se someten de nuevo a la acción del fuego. Antes de la última cocción se recubren con una capa especial que les da el esmalte.

La porcelana ofrece buenas cualidades como aislante eléctrico, cualidades que pierde progresivamente por encima de los 150°. Su resistividad, a la temperatura normal, es de unos 2.000.000.000 de $M\Omega/cm^2cm^2$; su constante dieléctrica es 4'3. Su resistencia a la perforación disminuye notablemente a partir de los 70° C.

Se trata de un material inatacable por los ácidos que soporta perfectamente los cambios de

ambiente. Sus propiedades mecánicas, variables según la composición de la pasta, oscilan entre 10 y 40 Kg/mm² para esfuerzos de compresión y entre 1'5 y 3'5 Kg/mm² para los de tracción.

Las piezas de porcelana pueden obtenerse con moldes a presión; piezas que adquieren gran resistencia una vez se han cocido. Por este procedimiento se obtienen piezas cuyas medidas se ajustan con bastante precisión a las previstas. Muchos elementos de gran utilidad en la industria eléctrica se obtienen por moldeo a presión: soportes, cajas para fusibles, portalámparas, bases para resistencias, etc. Son materiales para baja tensión.

Cuando se requiere mayor precisión en las medidas se sigue otro proceso de obtención: las piezas moldeadas se someten a una primera operación de secado parcial que las endurece, pero no en grado absoluto. Estas piezas, que conservan cierto porcentaje de humedad, se mecanizan en torno, fresadora u otro tipo de máquina para ajustarlas a las medidas convenientes.

Por la cocción (a unos 1200° C) las piezas sufren una ligera contracción, que a veces hace precisa una rectificación posterior de las medidas críticas (taladros, por ejemplo).

Se comprende que el barniz o esmalte que cubre la porcelana debe tener el mismo coeficiente de dilatación para evitar la formación de grietas superficiales.

Es indudable que la principal aplicación de la porcelana, en el campo de sus aplicaciones eléctricas, está en la fabricación de aisladores. Por esta razón los aisladores de porcelana se construyen en un gran número de modelos y dimensiones, lo que los hace adecuados para resolver los problemas de aislación que plantea el empleo de tensiones y potencias cada vez mayores.

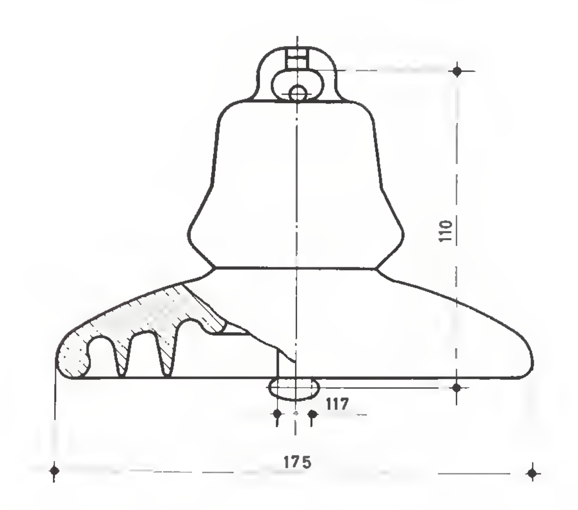
Para ser utilizados como soportes aislantes de los conductores eléctricos en líneas de producción y distribución se prescriben, como más convenientes, los tipos siguientes:

DE CAPERUZA Y VASTAGO

Se utilizan en grandes líneas de transporte. Constan de un platillo de porcelana en forma de campana unida a unos refuerzos metálicos. Las partes metálicas son una caperuza exterior a la campana y un perno de acero forjado que atraviesa a ésta. La resistencia mecánica y eléctrica del aislador está dada por la porcelana, de espesor relativamente pequeño, que queda interpuesta entre la caperuza superior y el vástago interior.

El vástago de un aislador puede insertarse en la caperuza de otro; así, sucesivamente, se forman cadenas de aisladores de la longitud que convenga a las exigencias del voltaje de servicio.





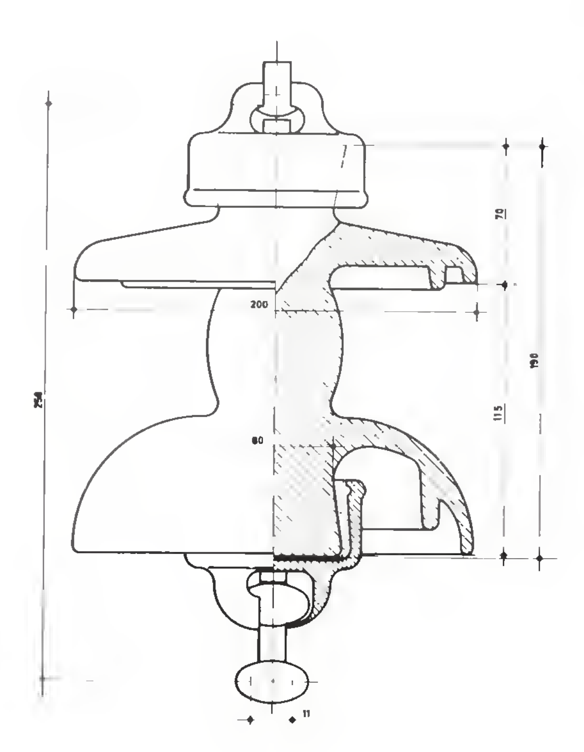
Aislador de caperuza y vástago; fotografía y plano.

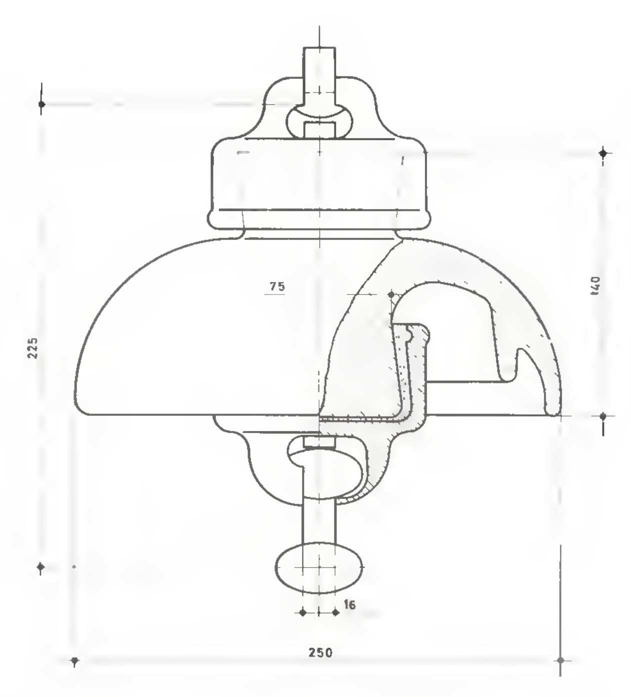
AISLADORES MACIZOS

Los forma un núcleo macizo de porcelana, de una sola pieza, con uno o más platillos concéntricos. Las partes metálicas para la fijación de varios elementos se sujetan con cemento sobre los extremos troncocónicos de este núcleo macizo. Estos aisladores ofrecen mayor seguridad de imperforabilidad y mayor resistencia a los esfuerzos mecánicos.

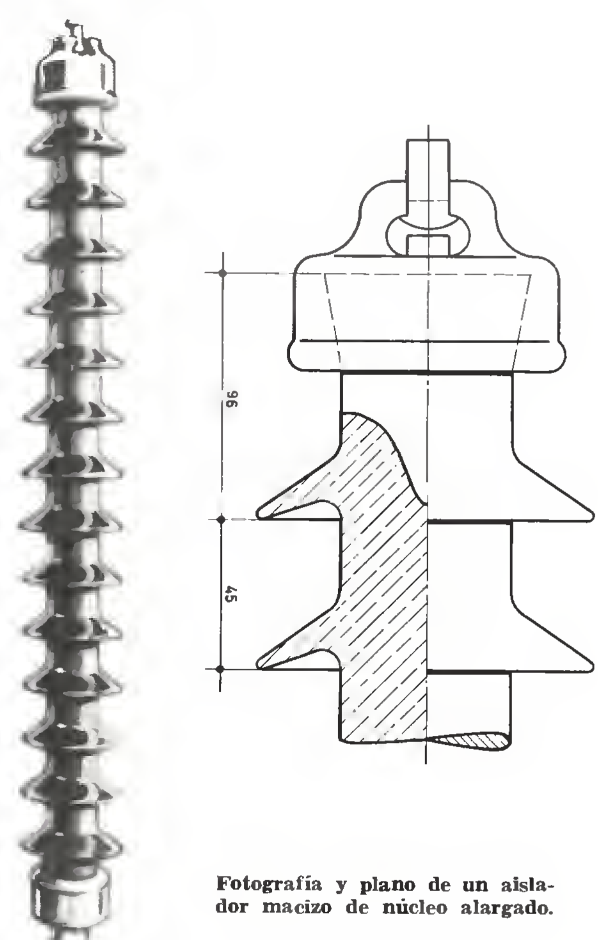


Foto de aislador macizo de dos campanas. Planos de aisladores macizos de una y dos campanas.





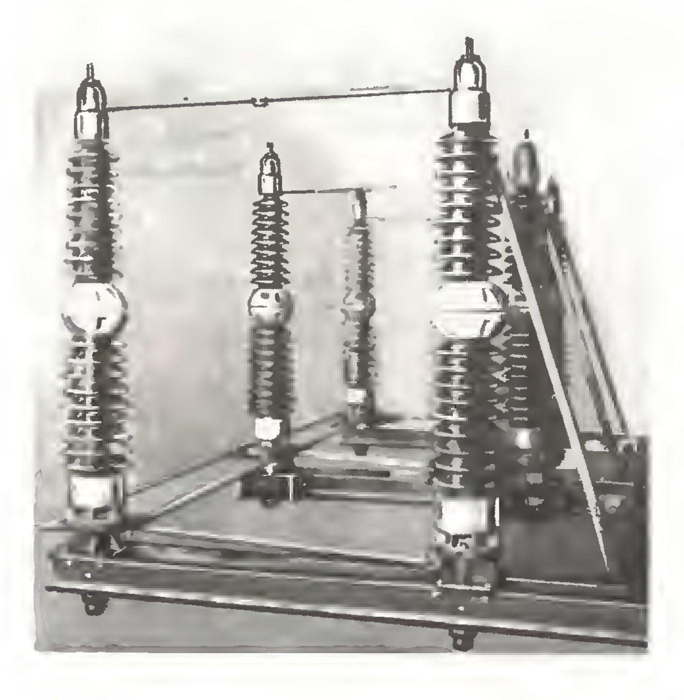
Existen aisladores macizos con núcleo alargado y varias campanas provistas de caperuzas metálicas en sus extremos. Este tipo de aislador aumenta la seguridad de imperforabilidad a muy altas tensiones.

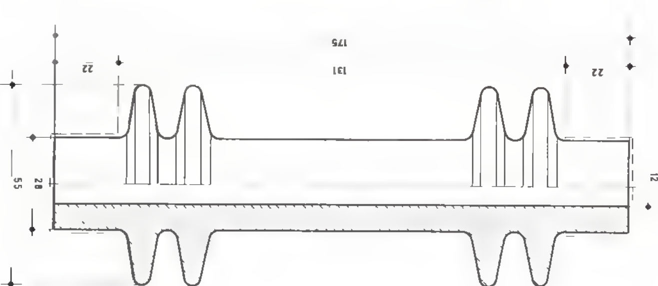


Fotografía y plano de un aislador macizo de núcleo alargado.

Entre los aisladores macizos deben citarse los aisladores soporte, cuya misión es separar un conductor de una masa conductora o semiconductora. Son muy empleados en centrales para desconectadores o seccionadores.

Existen otros tipos de aisladores con una misión específica que cumplir. Limitamos su descripción a su representación gráfica, por creer que es suficiente a las pretensiones de este resumen sobre aislantes cerámicos.



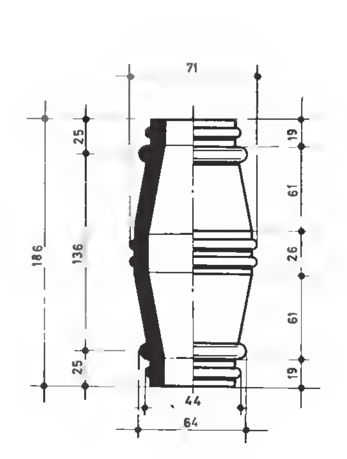


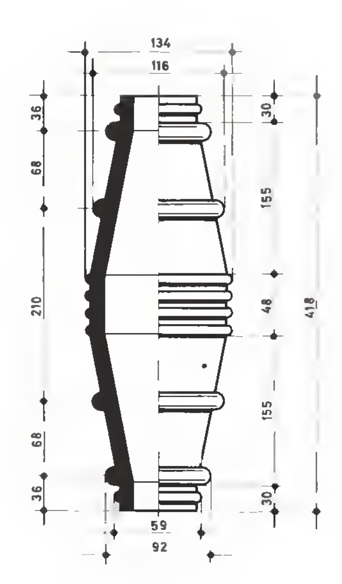


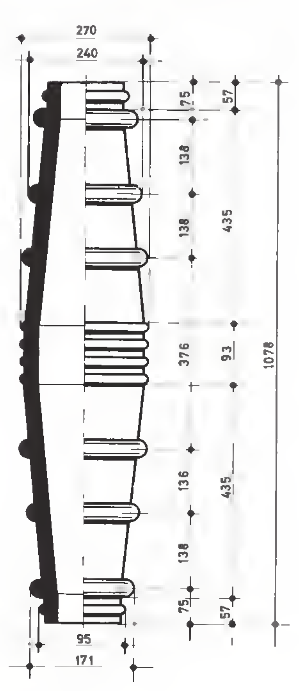
Aislador portafusibles.



Aislador pasamuros

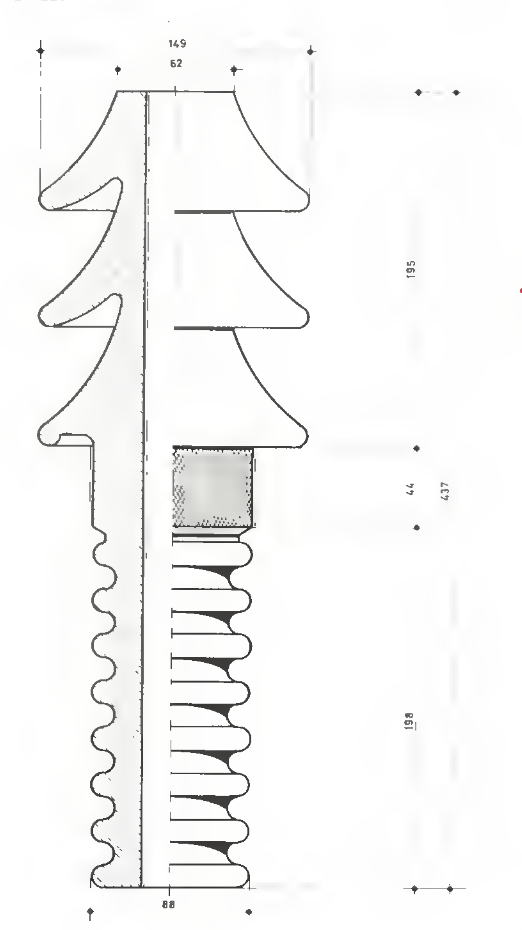






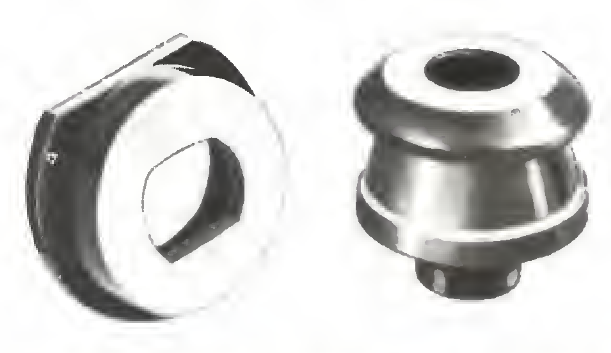


Pasamuros interior-interior y pasamuros interior-exterior.





Pasatapas y pasamuros para transformador.



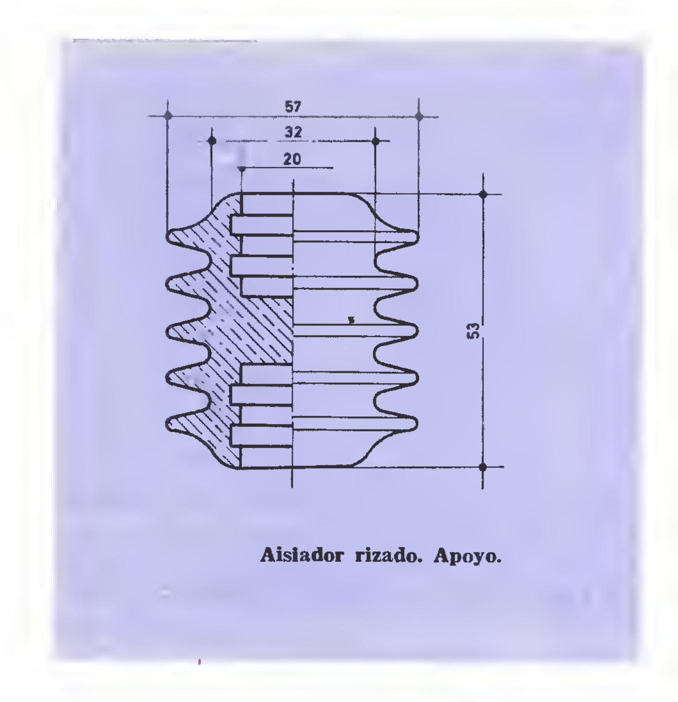


AISLADORES RIZADOS Y TENSORES

Se trata de otros tipos, mucho más modestos pero extraordinariamente útiles, de aisladores de porcelana.

El modelo rizado es un aislador que se utiliza como apoyo de banquetas, pértigas de maniobra, etcétera.

Siguen ahora los aisladores tensores, que en sus distintas formas (prismática, de oreja y oval) sirven para aislar los extremos de los cables que actúan de tensores para mantener en la posición correcta los cables conductores de las líneas de transporte y distribución.



Aislador rizado. Apoyo.



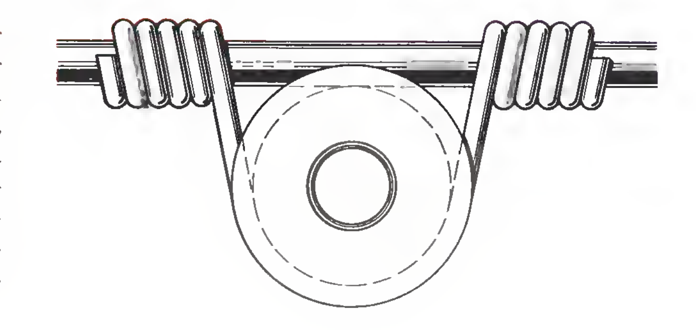


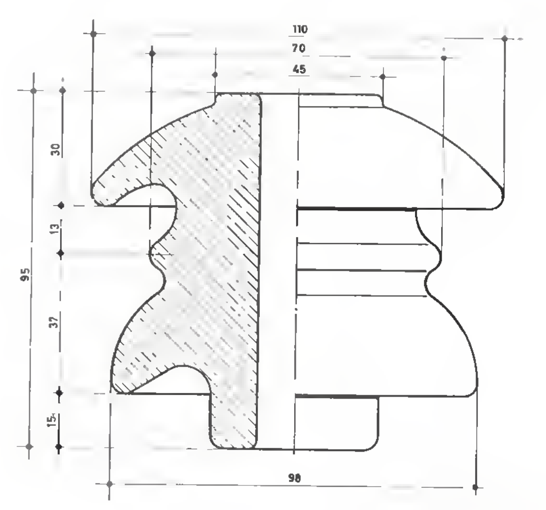


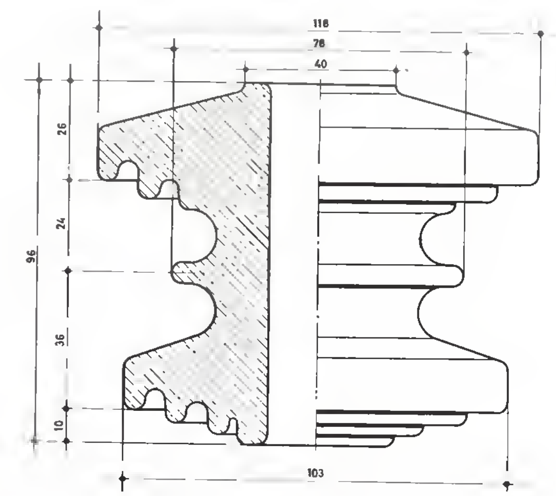
Tres tipos de aisladores tensores.

POLEAS AEREAS PARA LINEAS DE DISTRIBUCION

Tratemos, para terminar, de un tipo de aislador muy conocido; el llamado de polea. En efecto, no es otra cosa que una polea de tipo especial en una de cuyas gargantas se apoya el conductor, mientras que el aislador queda fijado a una varilla o bulón metálico que pasa por el interior del orificio longitudinal. El conductor y el aislador quedan unidos por un trozo de conductor más delgado que da la vuelta al aislador y cuyos extremos se enrollan al cable de la línea.







Plano de los aisladores tipo polea. En el croquis anterior indicamos la forma de amarre.

CONDICIONES QUE DEBEN CUMPLIR LOS AISLADORES

En todo aislador existen unos valores críticos cuya cuantía depende de las condiciones eléctricas y mecánicas en que debe trabajar. Estos valores se refieren a las siguientes magnitudes:

TENSION DE CONTORNO

Es la tensión que provoca una descarga en forma de arco o chispa alrededor del aislador y entre el conductor y las partes metálicas. Esta tensión se mide en seco y con lluvia.

TENSION DE PERFORACION

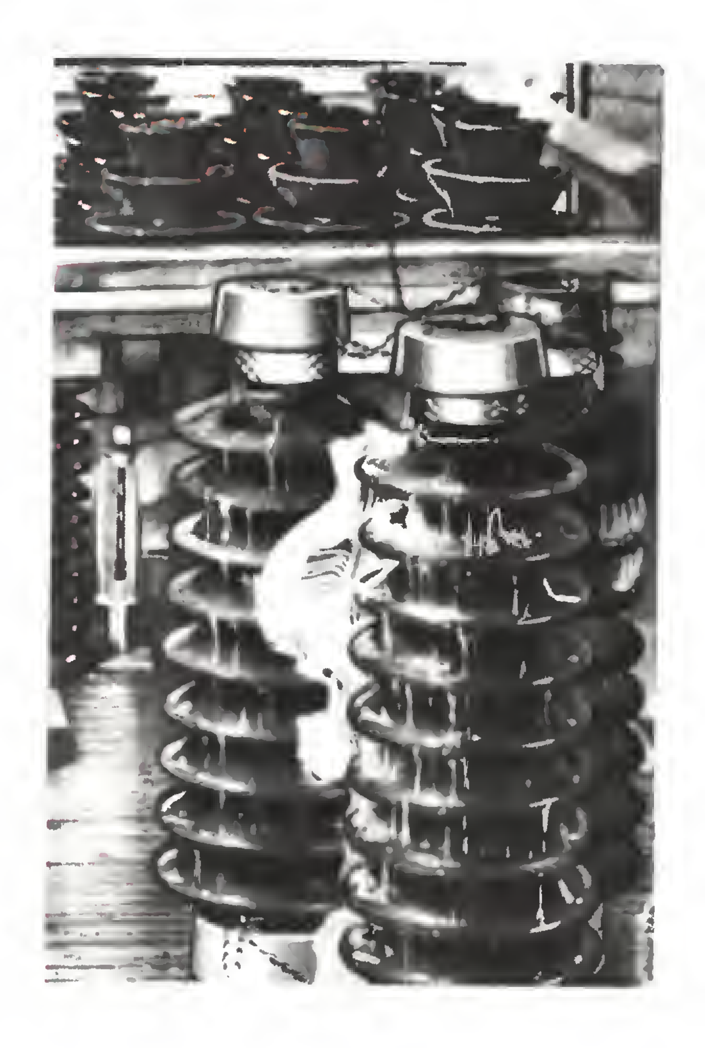
Es la tensión que provoca el paso de un arco a través de la masa del aislador.

ESFUERZOS MIXTOS, CONTRACCIONES MECANICAS...

Los aisladores están sometidos, por lo general, a esfuerzos mecánicos y a la acción física de las altas tensiones que soportan. Estas circunstancias pueden alcanzar valores críticos, que serán distintos según el tipo de aislador que se considere.

Ello obliga al fabricante a determinar estos valores críticos y a verificar las distintas piezas para comprobar que realmente pueden soportar las condiciones de trabajo a que serán sometidas una vez instaladas.

Los aisladores se someten a duras pruebas mecánicas (compresiones y tracciones críticas) y eléctricas. Con ondas ultrasonoras y una sonda apropiada se detecta la posible existencia de grietas interiores que disminuyen considerablemente la resistencia eléctrica y mecánica del aislador.



Aisladores sometidos a pruebas de laboratorio.

OTROS AISLANTES CERAMICOS
LA ESTEATITA

Es un silicato natural parecido al talco que presenta buenas cualidades dieléctricas y mecánicas en corrientes de alta frecuencia.

De la esteatita se obtienen pastas refractarias cuya cocción se da a 1400° C. Las piezas refractarias de esteatita se obtienen por moldeo o por modelado. Resisten los esfuerzos mecánicos mucho mejor que las de porcelana.

Las piezas de esteatita cerámica pueden mecanizarse perfectamente antes de la cocción.

Se fabrican piezas aislantes de esteatita destinadas al control de corrientes de alta frecuencia.

CORINDON VITRIFICADO

Es un óxido de aluminio fundido que contiene un pequeño porcentaje de sílice. Tiene el aspecto de un cuerpo cristalizado muy parecido a la porcelana. Presenta gran resistencia mecánica y eléctrica, cualidades que pierde a temperaturas elevadas. Por ello se emplea para la fabricación del soporte aislante de las bujías de encendido de los motores de combustión interna y para soportes de los filamentos incandescentes de estufas, soldadores, etc.

BASES REFRACTARIAS POROSAS

Son piezas de tierra refractaria en cuya composición entran alúmina, óxido de magnesio, sílice, corindón, etc., con cuya mezcla puede obtenerse una gran variedad de materiales refractarios.

Por su doble condición de aislantes y refractarias, estas tierras son especialmente útiles como soporte de los hilos incandescentes de aparatos destinados a la producción de calor.

Son elementos refractarios muy conocidos: placas calefactoras para hornillos y hornos eléctricos, barras y piñas para estufas.

Para hornos de elevada potencia se fabrican



Elementos de tierra refractaria de aplicación común.

elementos calefactores de tierra refractaria con hilos resistentes empotrados. Algunas resistencias para soldador son también de este tipo.

Estos elementos refractarios soportan temperaturas de 1500° C, mayormente cuando se colocan en sentido vertical. Cuando adoptan posición horizontal resisten menos por la razón de que a temperaturas de 1500° se reblandecen y arquean, sobre todo cuando los puntos de apoyo de la pieza corresponden con sus extremos. La temperatura de reblandecimiento está comprendida entre los 1300 y 1700° C.

AISLANTES GASEOSOS

Los gases, y también los vapores (forma gaseosa que procede de la evaporación de un líquido), pueden tener cierta importancia con vistas al aprovechamiento industrial de sus propiedades dieléctricas.

La pequeñez de su constante dieléctrica, la facilidad con que recuperan su poder aislante después de una descarga y el tener pérdidas dieléctricas prácticamente nulas son cualidades muy dignas de ser tenidas en cuenta.

La descarga a través de un gas se produce cuando se ioniza; o sea, cuando se encienden las moléculas motivando la formación de átomos o nuevas formas moleculares con carga eléctrica positiva o negativa (iones + e iones —). La ionización tiene lugar cuando las moléculas del gas están sometidas a un campo eléctrico que excede cierto valor crítico. Cuando se rebasa este valor se produce una descarga brusca de la corriente, llamada descarga disruptiva.

AIRE

El aire es una mezcla de gases. Algunos de sus componentes deben considerarse constantes; son los que forman el aire propiamente dicho, al que se mezclan otros gases en cantidad variable según la región, comarca o localidad a la que pertenezca la muestra analizada.

Los componentes constantes del aire son oxígeno, nitrógeno y bióxido de carbono, argón y los gases inertes o nobles en pequeñísimos porcentajes.

Entre los componentes accidentales debemos contar, ante todo, con el vapor de agua.

La composición aproximada del aire seco es la siguiente:

Componente	% en peso
Nitrógeno (N)	75'58
Oxígeno (O)	23'08
Bióxido de carbono (CO_2)	0'05
Argón (Ar)	1'28
Otros gases inertes	0'001
Hidrógeno (H)	0'001

La mayor o menor conductividad del aire, pues, depende del grado de ionización que haya alcanzado, causa que a su vez depende de la tensión existente en los electrodos o bornes separados por una masa de aire.

A título de curiosidad ofrecemos una tabla donde se relacionan las tensiones aplicadas a las esferas, de 500 mm de diámetro, de un espinterómetro con la distancia máxima a la que salta la chispa entre las dos esferas.

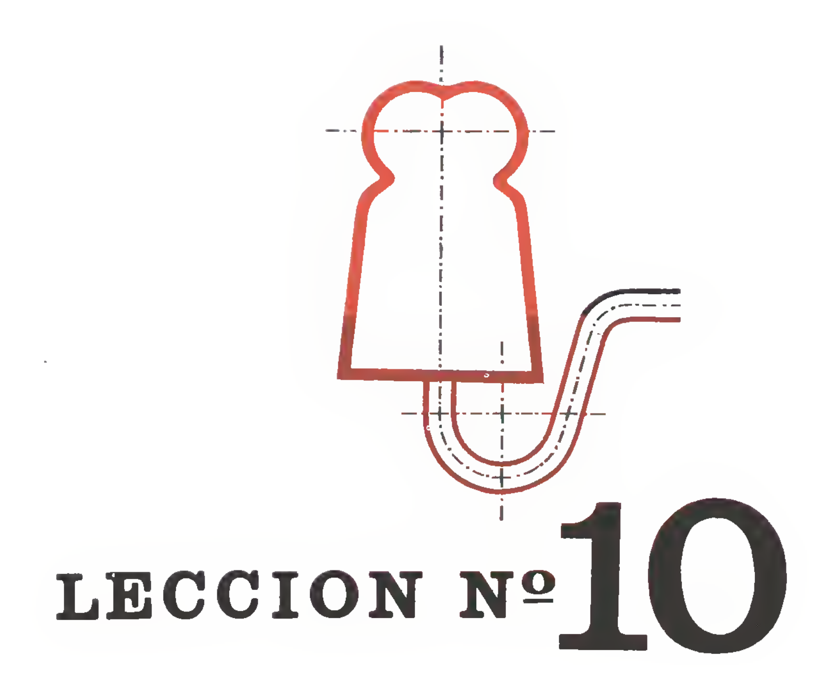
Tensión máxima en KV	Distancias entre esferas en mm
180	67'5
220	84
260	100
300	118
340	137
380	157
420	179
460	206
500	236

Se comprende que a mayor enrarecimiento del aire corresponde menor posibilidad de ionización, y por tanto mayor poder aislante; de forma que al alcanzar el vacío se obtiene una rigidez dieléctrica muy superior a la del mejor aislante sólido.

El vacío, pues, es un magnífico medio (valga la expresión) aislante.

MATERIALES

Hierro y acero
Cales y cemento
Piedras y ladrillos



LECCION Nº 10

conocimiento de materiales

Hierro, acero, cales, cemento, piedras y ladrillos

INTRODUCCION

Aquí se cierra este apéndice formado por una década de lecciones que, bajo el título de MATERIALES ELÉCTRICOS, forman un tratado elemental destinado al estudio físico de aquellos materiales que, en mayor o menor proporción, tienen una aplicación en la industria eléctrica.

Nos quedan por ver unos materiales cuya aplicación es de índole constructiva y que, si bien no intervienen en la parte eléctrica de máquinas o instalaciones, permiten su construcción y firme emplazamiento.

Deseamos sinceramente que esta serie de diez lecciones haya contribuido a incrementar lo que bien podemos definir como *su cultura general técnica*, con aplicación inmediata dentro de la especialidad eléctrica.

MATERIALES FERRICOS

El hierro es sin duda, el metal que más se utiliza en el mundo por su resistencia, flexibilidad, dureza, etc. Sin embargo, aunque parezca paradójico, el hierro puro no tiene aplicación; es demasiado blando. Afortunadamente, una pequeña cantidad de carbono añadida al hierro cambia sus propiedades, le confiere dureza y elasticidad y lo hace útil para la construcción de máquinas, estructuras metálicas, herramientas y miles de aplicaciones.

El hierro no se encuentra en la Naturaleza en estado nativo, sino formando compuestos que ofrecen el aspecto de tierras o piedras de color rojizo, principalmente, que tienen un fuerte porcentaje de óxidos de hierro (Fe_3O_4-Fe_2O_3) o de carbonato de hierro (CO_3Fe). Estos minerales reciben los nombres de *hematites roja* o *hematites parda* y magnética en el caso de los óxidos y de *siderosa*, cuando están compuestos por carbonatos.

El hierro comercial suele contener un porcentaje variable de carbono, que según acabamos de decir, modifica totalmente sus propiedades. Esta influencia queda reflejada en el siguiente cuadro de porcentajes y aplicaciones:

°/₀ de carbono	Propiedades	Aplicaciones
0'05 a 1'7	Resistente, difícilmente moldeable, maleable, forjable, se puede soldar y laminar	Para piezas laminadas y forjadas, chapas y alambres
1'7 a 2'3	Poco forjable y no moldeable	No se utiliza
2'3 a 5	No es forjable ni maleable. Se moldea muy fácilmente	Para piezas de fundición obtenidas por moldeo

El hierro se obtiene a partir de los minerales citados por el procedimiento del alto horno. Se trata de un gran horno vertical donde se introducen, por la parte superior, capas alternas de mineral de hierro y de carbón de coque. Por la parte inferior se insufla aire a presión para que de esta forma se produzca la combustión del carbón. Esta combustión provoca en el mineral un doble efecto: por una parte el calor desprendido funde el metal, y por otra, le arrebata el oxígeno y le deja libre.

A un nivel inferior a las toberas de aire, existen dos pequeños orificios a distinta altura con objeto de poder sacar por ellos el hierro y la escoria. El primero, por el agujero inferior y la segunda, por el superior, debido a su distinto peso específico.

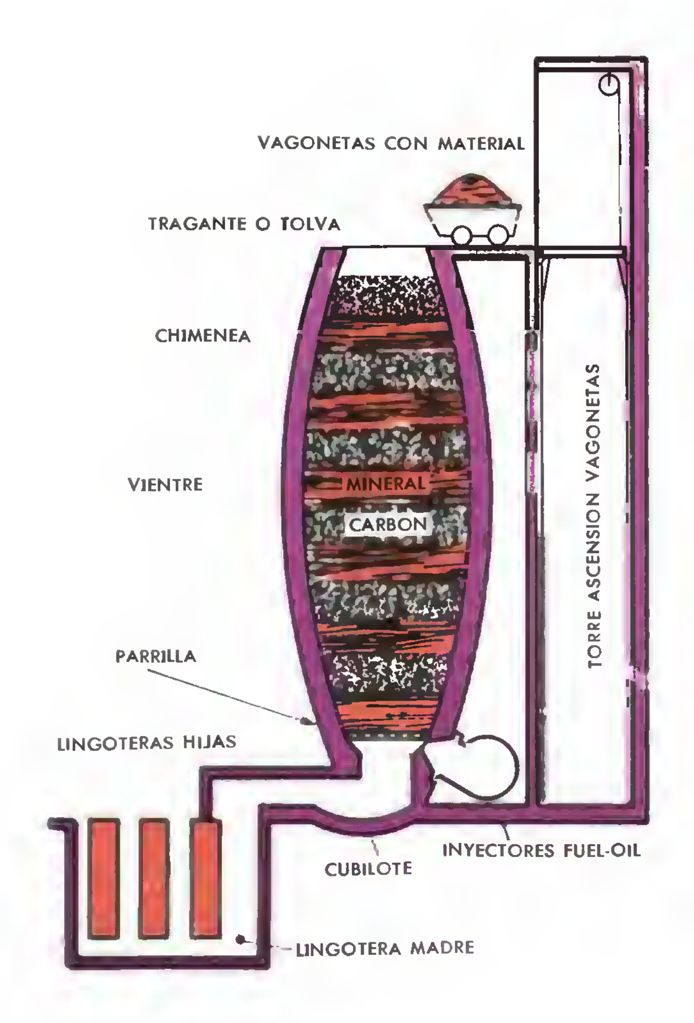
El hierro líquido que sale del alto horno pasa por un pequeño canal de materia refractaria y llena una cuchara de colada. Posteriormente verterá su contenido en el interior de unos moldes, llamados lingoteras, y entonces se solidificará. Los bloques de hierro obtenidos por este sistema no sirven para su aprovechamiento en la industria. Sin embargo, de ellos se obtienen, por eliminación de impurezas y carburación o descarburación, los distintos aceros, necesarios para laminar o para que puedan fundirse con facilidad según el cuadro anterior.

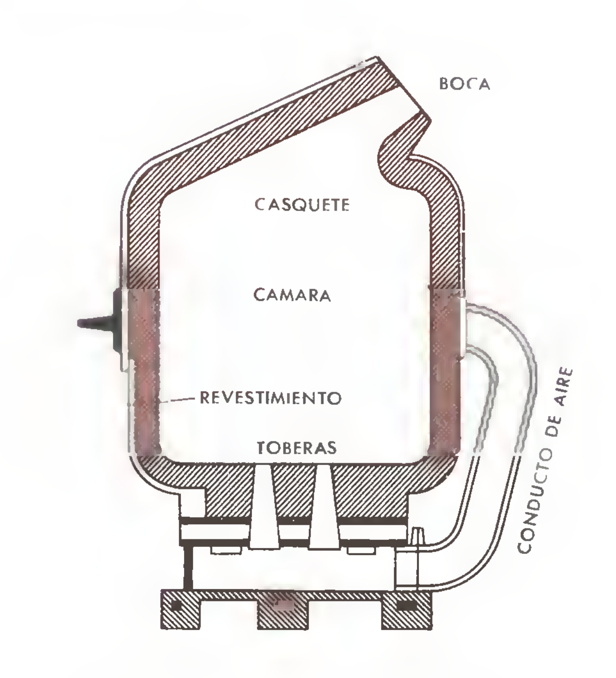
Los hornos más utilizados para afinar el arrabio o hierro de alto horno son el Bessemer y Martin-Siemens, de crisol y eléctricos. Además de quitarle las impurezas, en estos hornos se aumenta (carburación o se disminuye (descarburación) la cantidad de carbono y algunas veces se añaden pequeñas cantidades de otros metales, que favorecen sus propiedades mecánicas. De esta forma se obtienen los llamados aceros especiales aleados. En los hornos de afino se le adicionan también al hierro cantidades pequeñas de otros compuestos, que afectan a la formación de las dos variedades de fundición: el silicio, añadido en forma de ferrosilicio, favorece la formación de fundición gris; el manganeso, en forma de ferromanganeso, actúa de modo contrario: impide la formación de fundición gris y la convierte en fundición blanca.

Los compuestos férricos más importantes son los siguientes: fundición blanca, fundición gris, aceros al carbono y aceros aleados.

La fundición blanca contiene carbono en forma de carburo de hierro muy duro. Sirve para obtener los otros materiales por su dificultad de poder mecanizar las piezas preparadas con ella.

La fundición gris contiene el carbono en forma de grafito blando. Sirve para obtener piezas por moldeo.





Sección de un convertidor Bessemer.



Los aceros al carbono pueden tener diversa cantidad de carbono. Por debajo de 0'35 % no templan.

Los aceros aleados contienen cantidades variables de otros metales que mejoran sus propiedades, como el cromo, níquel, cobalto, etc.

En el esquema anterior puede verse perfectamente todo el proceso de obtención del material, el cual en cualquiera de sus formas finales permite la construcción de los grandes ingenios mecánicos, eléctricos y químicos que la técnica de hoy produce.

CLASIFICACION DE LOS ACEROS

No hay en ello una unidad de criterio, pero debe saber que para facilitar la clasificación de los aceros en los almacenes, en los catálogos y en los proyectos, y para terminar de una vez con el arbitrario y variando nombre que cada fabricante daba a su acero, los organismos oficiales han dictado normas de clasificación. El Instituto del Hierro y del Acero, por ejemplo, clasificó los materiales férricos con la inicial F, seguida de un número que situaba al acero en el grupo correspondiente, de acuerdo con sus propiedades comunes con las del grupo. De acuerdo con esto veamos lo siguiente:

F 110 al 120 Aceros al carbono.
F 120 al 130 Aceros aleados de gran resistencia.
F 140 al 150 Aceros de gran elasticidad.
F 150 al 160 Aceros para cementar.
F 160 al 170 Aceros para nitrurar.

Según este cuadro un acero F-112 pertenecerá al grupo de los aceros al carbono con las propiedades particulares que éste y cada uno de los tipos de acero pueda tener en cada grupo. Estas propiedades se describen con detalle en los catálogos de los fabricantes de acero, donde se hace constar claramente la resistencia del acero a los distintos esfuerzos, temperatura de temple, recocido, forjado, etc., aplicaciones y otras constantes.

APLICACION DE LOS MATERIALES FERRICOS

Fundición blanca

Es de composición similar a la fundición gris. Ambas contienen de 2'5 a 4'5 % de carbono. Forman un compuesto con el hierro (carburos de hierro) de gran dureza, que imposibilita su mecanizado. Su fusión es pastosa y no se deja colar en los moldes. Por tal motivo no se utiliza más que para obtener el otro tipo de fundición o los distintos aceros. En este caso se emplea el procedimiento de descarburación.

Fundición gris

Como ya hemos dicho antes, el carbón se halla dispuesto en toda la masa en forma de grafito. Por ser una variedad del carbono de forma blanda el grafito permite una fácil mecanización. Los granos negros de grafito dan a la masa el tono gris por estar intercalados en una masa de color blanco. No es forjable ni maleable, pero su fusión es muy fluida. Sirve para fabricar piezas de formas distintas a las obtenidas de las barras o perfiles comerciales, como bancadas, zócalos, poleas, carcasas, tapas, palancas, etc. Ello se debe a sus propiedades de fácil colada y por la suficiente resistencia que presenta a la compresión.

Aceros ordinarios al carbono

Estos aceros contienen de 0'05 a 1'5 % de carbono. Debe advertirse que a medida que aumenta el contenido de carbono aumenta también el límite de elasticidad y su resistencia a la rotura. Estos aceros son susceptibles de ser templados a temperaturas distintas, según el contenido de carbono. De este modo pueden llegar a alcanzar grandes durezas.

Por debajo del porcentaje mínimo (0'05) no suelen utilizarse estos materiales, excepto en pequeñas aplicaciones de algunos alambres por su gran ductilidad.

Los aceros al carbono forman la mayor parte de construcciones a base de hierro. Sus propiedades varían mucho con su composición. Se distinguen dos grandes grupos: los destinados a la construcción de piezas y perfiles comerciales y los destinados a la fabricación de herramientas.

Los destinados a piezas y perfiles poseen tenacidad, resistencia al choque y elasticidad, pueden soldarse y templan con agua a la temperatura de 825° (rojo cereza oscuro) y a 925° (rojo cereza claro), según aumente el contenido de carbono.

Los destinados a la fabricación de herramientas tienen una composición más elevada de carbono (de 0'5 a 1'5 %). Sus propiedades son las mismas que las del grupo anterior, pero aún más acentuadas. Templan en agua a temperaturas de 750° (rojo sombra) y 825° (rojo cereza oscuro). Con esta clase de aceros se construyen alicates, tenazas, cortafríos, brocas, machos y terrajas de roscar, herramientas de corte, etc.

Aceros aleados

Estos aceros se clasifican según sus aplicaciones. Ello es debido a que unos mismos componentes intervienen en la mayor parte de los aceros aleados. Basta sólo con modificar las cantidades o incluir algún elemento nuevo, para que las propiedades de estos aceros aleados queden modificadas muy sensiblemente.



Fotografía de una estructura metálica de perfiles laminados.

Los porcentajes de carbono oscilan entre 0'15 % (cementación) y 1'50 % (indeformables). Los elementos aleados son los siguientes por orden de mayor a menor intervención en los aceros: cromo, níquel, manganeso, cobalto, tungsteno, vanadio y molibdeno. Algunos de estos elementos van aleados al acero en proporción bastante fuerte. Así, por ejemplo, el tungsteno en un 18'5 % en los aceros rápidos; el cromo en un 18 a 20 %, y el níquel en un 8 % en los aceros inoxidables. Estos porcentajes no suelen ser los más abundantes. Los más corrientes no pasan del 4 %.

Los aceros aleados de gran resistencia sirven para fabricar piezas a las que deberán exigirse esfuerzos mecánicos, que no podrían soportar los aceros ordinarios al carbono. Con estas piezas se construyen cigüeñales, bielas, ejes, levas, etc.

Los aceros de cementación y nitruración se usan para piezas que deban ser duras superficialmente y de extraordinaria resistencia, como engranajes, piñones, etc. Esta dureza se obtiene por

medio de los tratamientos térmicos del mismo nombre.

Los aceros para muelles y ballestas poseen una gran elasticidad y flexibilidad.

Los aceros rápidos reciben este nombre por permitir el mecanizado de las piezas a gran velocidad cuando se usan herramientas de corte de este acero. Esto es posible porque estos aceros tienen una temperatura de temple muy elevada y, por tanto, no les afecta el calentamiento que experimentan con el mecanizado. Estos aceros sirven para fabricar herramientas de corte para torno, fresas, brocas, machos y terrajas, de superior rendimiento que las fabricadas con acero ordinario.

Los aceros indeformables permiten fuertes calentamientos por el temple o por el trabajo a que se someten, aunque no por ello modifican su forma. Estos aceros se emplean, principalmente, para matricería y piezas ajustadas que deban templarse posteriormente.

Los aceros inoxidables se usan para bombas, turbinas, depósitos, cuchillería, etc., debido a su resistencia a los agentes corrosivos y oxidantes.

Los aceros refractarios mantienen sus propiedades de resistencia mecánica hasta elevadas temperaturas. Se usan para parrillas, elementos de hornos, etc.

Los aceros magnéticos se utilizan para imanes, electroimanes y chapas magnéticas.

PROPIEDADES ELECTRICAS Y MAGNETICAS DEL HIERRO Y SUS APLICACIONES

La conductibilidad del hierro es afectada por las impurezas y otros componentes. Para el hierro casi puro la resistividad ζ vale:

$$\zeta = 0'009\ \Omega\text{xm/mm}^2$$

La presencia del silicio en el hierro aumenta la permeabilidad magnética y disminuye las pérdidas de histéresis. Además, tiene la ventaja que al presentar una resistividad mayor que la del hierro purificado por electrolisis, son menores las pérdidas por corrientes de Foucault.

El acero ve modificadas sus propiedades magnéticas ante otros componentes o tratamientos. Estos son los siguientes: el manganeso en un 12 % o más le hace perder todas sus propiedades magnéticas. En el mismo sentido actúan el azufre y el fósforo. El temple, laminado y todo lo que tienda a endurecer el acero rebaja su permeabilidad y aumenta el campo coercitivo (campo necesario para aumentar el magnetismo remanente). Por el contrario, el recocido (calentamiento al rojo con enfriamiento muy lento) aumenta su permeabilidad.

Los imanes permanentes están fabricados con aceros de gran remanencia y campo coercitivo. No suelen contener carbono, pero sí cromo y tungsteno. Hay otros tipos de base de cobalto, níquel, y aluminio, y puede conseguirse una inducción remanente de 11.000 a 12.000 gauss.

En láminas o chapas magnéticas para aparatos eléctricos interesan materiales con gran permeabilidad y pocas pérdidas por histéresis y Foucault. Se emplean aleaciones a base de aluminio y silicio.

E· radiotecnia se utiliza el hierro vulcanizado. De esta forma se obtienen núcleos por prensado, aglomerados por un aislante o recubriendo con él tiras de papel. De este modo se consiguen buenos rendimientos aun con las altas frecuencias que se utilizan. La fundición se emplea en las culatas o núcleos de las máquinas eléctricas. El recocido aumenta la inducción y la permeabilidad de la fundición.

RECONOCIMIENTO DE LOS ACEROS

En el taller puede hacerse necesario identificar el material de una broca, herramienta, pieza, etc., de la cual se desconoce su composicion. De una forma muy aproximada puede averiguarse con sólo observar la forma de las chispas que se desprenden al tomar contacto con una muela.

A medida que aumenta el contenido de carbono las chispas se hacen más perceptibles. En cambio, a medida que aumenta la cantidad de elementos aleados, es más rara la formacion de chispas. En resumen: a mas carbono, mas chispas y viceversa.



Aceros aleados: pocas chispas:



Aceros al carbono: muchas chispas.

TRATAMIENTOS TERMICOS DE LOS ACEROS

Para aclarar ideas, expondremos en forma resumida los principales tratamientos de los aceros, en los que el calor es su principal protagonista.

Temple

Consiste en obtener gran dureza en un acero a base de calentarlo al rojo y enfriarlo luego rápidamente por inmersión en agua, aceite, y algunas veces, en aire frío y seco.

Recocido

Someter un acero a elevada temperatura durante cierto tiempo y luego enfriarlo lentamente. De este modo se eliminan además de las tensiones internas la dureza que pudiera haber obtenido por laminado, temple, etc.

Revenido

Cuando un acero queda a todo temple es muy duro y quebradizo. Como no siempre se necesita tanta dureza puede disminuirse por medio del revenido y aumentarse, en cambio, su tenacidad y resistencia al choque. Este procedimiento consiste en calentarlo, después del temple, a una temperatura bastante por debajo de la del temple.

Cementación

Consiste en sumergir hierro con poco carbono (que no templa) en una materia rica en carbono. Al calentar, éste penetra en el hierro a una profundidad pequeña. Luego puede calentarse de nuevo y templar. De este modo queda la pieza endurecida superficialmente y mantiene el núcleo blando y tenaz.

PROTECCION DEL HIERRO CONTRA LA OXIDACION

El acero se oxida cuando está expuesto al aire húmedo. De esta forma da lugar a la herrumbre u orín. Para que esto ocurra debe actuar simultáneamente el oxígeno del aire y el agua. Sabido es que el acero no se oxida en aire seco o sumergido en agua que no lleve aire disuelto. De los distintos materiales férricos, los que más se oxidan son los laminados y los que menos las fundiciones.

La oxidación en el hierro produce una capa que, a diferencia de lo que ocurre con otros metales (plomo y cobre, por ejemplo), favorece la oxidación. Esta continúa hasta que todo el hierro queda destruido.

Para evitar la oxidación las piezas de hierro se recubren de una capa protectora que lo aisla del aire. Hay que cuidar que este recubrimiento sea total y que no exista traza de óxido antes de extender la mencionada capa. Por ello el hierro debe ser limpiado con chorros de arena y raspado con cepillo metálico hasta dejar una superficie limpia.

Los procedimientos más utilizados para recubrir el hierro son los siguientes:

Pintado al óleo

Se aplica la pintura después de una primera mano de minio, disuelto con aceite de linaza. Se dan generalmente una o dos manos posteriores

de pintura, que no debe aplicarse sin estar seca la capa anterior. Se consigue una protección eficaz con pinturas hechas a base de polvos de aluminio, cinc, etc., y también con polvo de grafito en suspensión con aceite de linaza.

Algunas veces se recurre al pintado con lechada de cemento, alquitrán y asfalto. Estos últimos deben aplicarse, a ser posible, estando las piezas calientes.

Metalización electrolítica

Consiste en recubrir las piezas de hierro con una capa de metal, depositada por electrólisis de una sal disuelta del metal cubriente. La pieza se introduce en el baño y se conecta al polo negativo, y formando el otro electrodo, que tiene conectado el polo positivo, se coloca una barra del metal que debe formar la cobertura. Por este sistema se realiza el niquelado, cromado, cadmiado, etc. Cuando se recubre con cinc se dice que el hierro se ha galvanizado. Este procedimiento puede hacerse también por inmersión de las piezas en este metal fundido.

Pavonado

Consiste en dar al acero un bonito color azulado. Se lleva a cabo sometiendo a las piezas a la acción del cloruro antimonioso. Tenemos un ejemplo de este procedimiento en los cañones de fusiles y pistolas.

CALES Y CEMENTOS

Cal viva

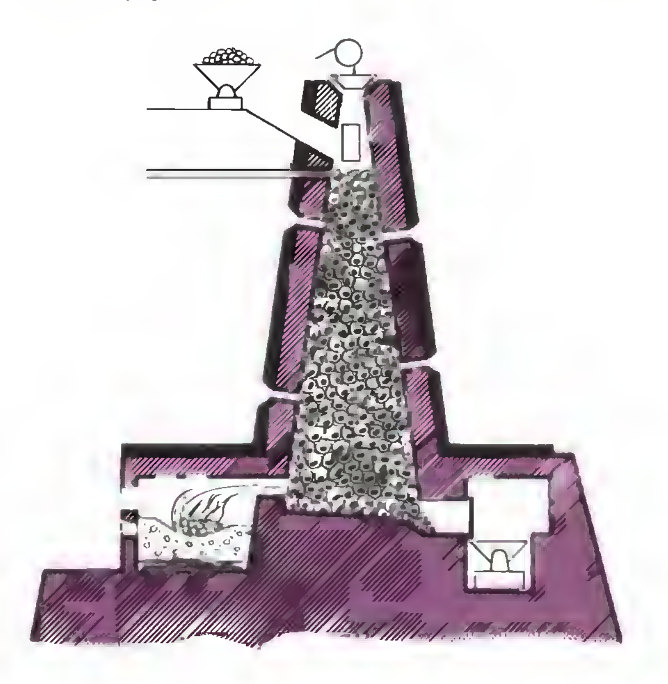
Se ofrece en forma de piedras o terrones de color blanco, difícilmente fusibles. Por este motivo se emplean como material refractario. La cal viva se obtiene a partir del carbonato cálcico o piedra caliza, por medio de unos hornos cargados de caliza y coque. Según la composición de la caliza se obtienen cal grasa, cal magra y cal hidráulica, que se emplean para preparar los morteros.

Si añadimos agua a la cal viva se obtiene cal apagada (hidróxido de cal, Ca (OH_2), con desprendimiento de calor. La cal se disgrega y forma con el agua una pasta blanca que mezclada con arena da el mortero de cal o argamasa. El de mejor calidad es el que emplea la cal grasa (muy blanca y algo untuosa).

Al contacto con el anhidrido carbónico del aire (CO_2) el mortero fragua, se endurece y aumenta sensiblemente su resistencia. Este mortero se emplea en construcción para unir los ladrillos aprovechando esta propiedad de endurecerse. El papel que desempeña la arena es la de hacer posible el acceso del aire y para aumentar su resistencia. No se puede emplear sólo la cal porque ésta se contrae al fraguar y produce grietas.

Reciben el nombre de cales hidráulicas las que una vez calcinadas pueden fraguar bajo el agua. El mortero hidráulico es, pues, el que fragua debajo del agua y no necesita para ello el CO_2 atmosférico. Debido a esto se emplean en las obras hidráulicas, como puentes, canales, etc.

Estos morteros están formados de arena, cal y arcilla. La arcilla y la cal deben ser calcinadas.



Horno de cal de hogares laterales.

En contacto con la cal forma un silicato insoluble y duro.

Yeso

Calcinado a 130° pierde las tres cuartas partes de agua y se convierte en yeso pulverizado llamado yeso vivo. Mezclado con agua forma una pasta que se endurece y fragua al combinarse con ella. De esta manera forma yeso hidratado mucho menos soluble. El yeso se emplea para unir ladrillos y enlucir paredes. El yeso cocido de buena calidad se llama escayola y con él se hacen moldes, figuras, etc. Mezclado con sulfato de cinc da el estuco.

A diferencia del yeso rápido que fragua en media hora hay el yeso lento, que se obtiene calentando fuertemente la piedra de yeso. El yeso lento fragua con gran lentitud y queda entonces una masa muy compacta, dura y refractaria a la humedad.

Cemento

Es una variente de cal hidráulica que fragua en poco tiempo, ya al aire o bien debajo del agua. El cemento procede de la calcinación de piedras calcáreas con un elevado porcentaje de arcilla (de 30 a 60 %). Se obtiene en la industria partiendo de una mezcla de caliza y arcilla, pulverizadas en horno rotativo, en el cual se vitrifican. Una vez extraído este producto se muele y el fino polvo obtenido recibe el nombre de cemento Portland. El fraguado del tipo normal suele realizarse a la hora de haberse producido su amasado con agua.

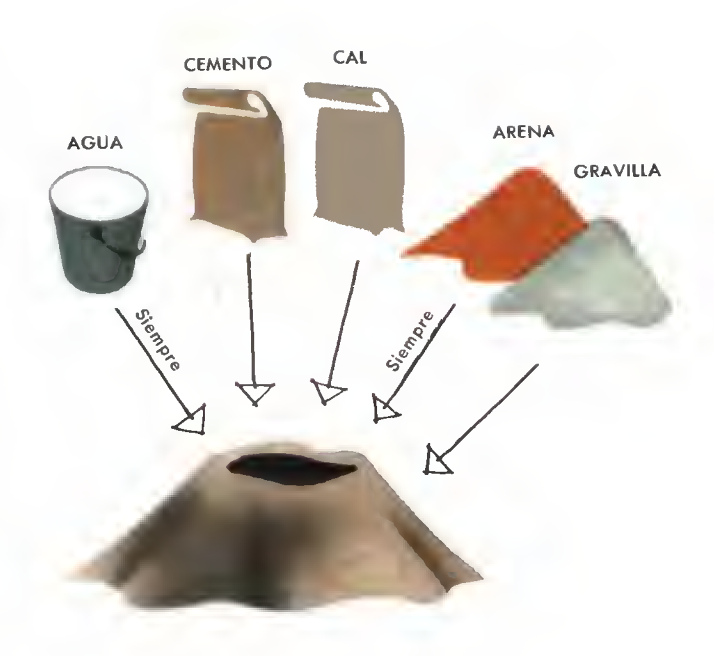
El Portland lento, mezclado con triple cantidad de arena, presenta después de siete días de fraguado (un día al aire y seis con agua) una resistencia de más de 120 kg/cm. Esta resistencia se dobla después de tres semanas. Estas resistencias suelen ensayarse cargando un cubo de este material de 50 cm^2 de área de cara (algo más de 7 cm de arista).

Los cementos se emplean para obras que puedan permanecer cubiertas de agua, aunque el mayor porcentaje de aplicación del cemento producido es para construcciones aéreas. El cemento normal en forma de mortero se emplea, generalmente, para obras usuales; el cemento de fraguado lento (cuatro a ocho horas), para hormigón, y el rápido (quince minutos), para juntas de tubos, revoque de paredes, etc. El cemento puro (sin piedra o arena) no suele utilizarse. Unicamente se hace servir en ocasiones para tapar grietas, pequeñas uniones, pintado del hierro para evitar su oxidación y pequeñas aplicaciones por el estilo.

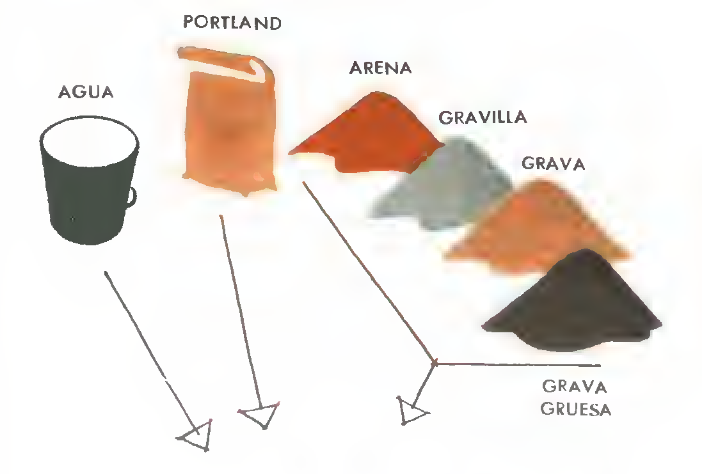
El mortero de cemento de máxima resistencia es el formado de arena y cemento, a igual cantidad, aunque la proporción más utilizada es una parte de cemento por tres o cuatro de arena.

Hormigón

Es una mezcla de un mortero de cemento con guijo o grava (piedra machacada y cantos rodados de río). La mezcla se efectúa en unas cubas rotatorias metálicas, llamadas hormigoneras, que realizan la mezcla con más uniformidad que a mano y también con mas rapidez.



Composición de los morteros.





Composición de los hormigones.

El tamaño de la piedra no debe exceder de unos 6 cm y la cantidad de la misma debe ser tal que los trozos de piedra queden completamente envueltos por el mortero de cemento e íntimamente unidos con él, sabiendo que la resistencia de un hormigón aumenta con la mayor proporción de cemento y mejor calidad de los componentes.

La cantidad de agua varía según el uso a que se destina. Puede oscilar de un 5 a un 15 %, según quiera obtenerse un hormigón consistente (parecido a la tierra húmeda) o fluido. El hormigón consistente se utiliza para construcción de edificios, cimentación de maquinaria pesada, para losas impermeables, etc. El hormigón fluido se emplea para armaduras, vigas, columnas, hormigón armado, etc., por adaptarse mejor a los moldes o encofrados y por establecer mejor contacto con las armaduras de acero que lleva este último hormigón, impidiendo de este modo que se oxiden por su mayor adherencia.

Hormigón celular

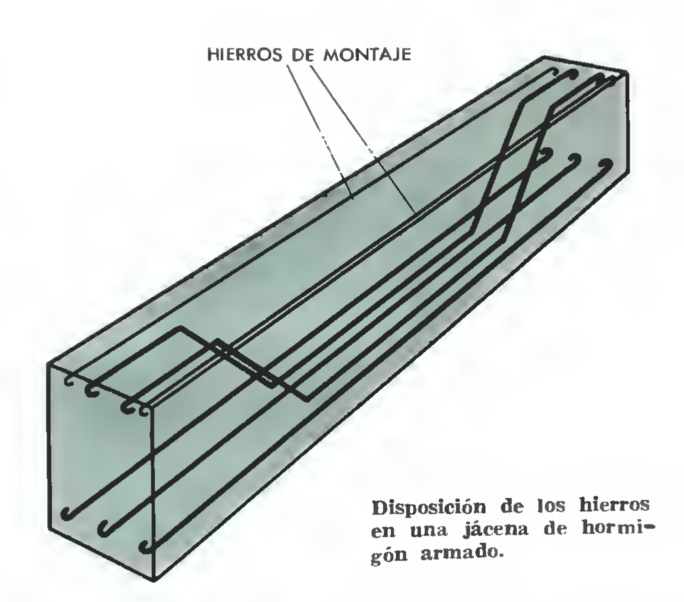
Este hormigón pesa muy poco y tiene un gran poder aislante del calor y del sonido. Estas propiedades hacen que este hormigón sea muy apto para las modernas construcciones metálicas o de hormigón armado, en las cuales las paredes han perdido su papel de sustentantes del peso y únicamente realizan una misión de cobertura de los huecos existentes entre los pilares. Este hormigón posee gran cantidad de células huecas y más de la mitad de su masa es aire. Además de estas propiedades tiene las siguientes: incombustible, imputrescible e impermeable, y su resistencia a la compresion es de unos 20 kg/cm² como valor medio.

Hormigón armado

Es una combinación de cemento y acero. Tiene su razón de ser en que el cemento es poco resistente a la tracción, aunque resiste bastante la compresión. Por otra parte, el acero es muy resistente a la tracción. Con todos estos factores se pensó en ligar ambos materiales y formar un conjunto con la resistencia suficiente y adecuada.

Esta unión se hace posible por los siguientes factores:

1. El hormigón y el acero tienen gran adherencia mutua que puede llegar a valer 40 kg/cm². Esto quiere decir que una varilla de acero introducida en una masa de hormigón no podrá ser sacada tirando de ella cuando ambos materiales tengan una cierta superficie de contacto. Esto ocu-



Disposición de los hierros en una jácena de hormigón armado.

rrirá, naturalmente, cuando el hormigón esté fraguado.

2. El acero no se oxida en el seno del hormigón si está perfectamente rodeado de éste. Para ello el hormigón debe ser suficientemente fluido. Para aumentar la homogeneidad del hormigón, y eliminar posibles bolsas de aire que pueden quedar en su seno, se introducen en él unos aparatos vibradores, que resuelven este problema. Esta operación debe hacerse antes del fraguado.

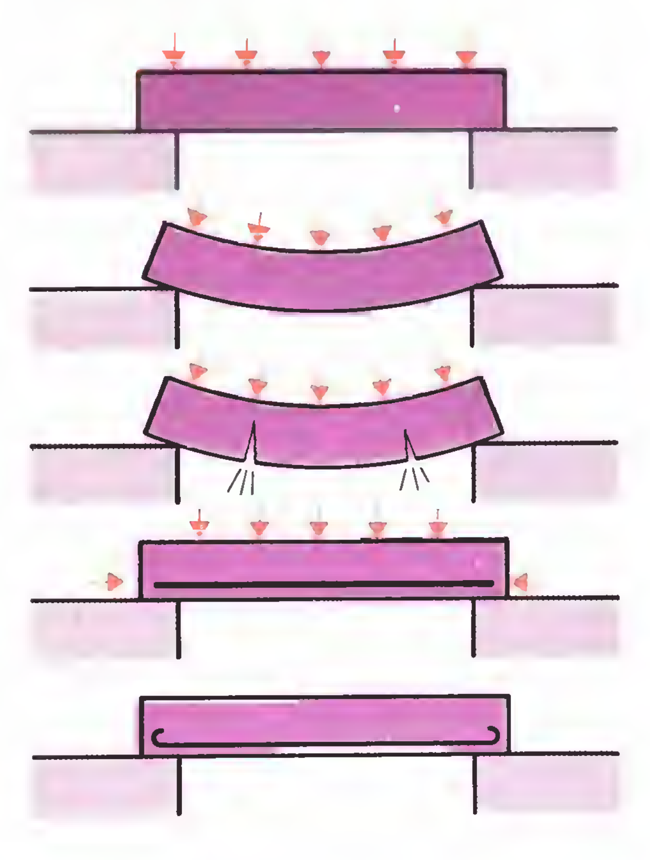
3. La longitud que ambos materiales dilatan o contraen, con las variaciones de temperatura, es prácticamente la misma. De no ser así las diferencias de temperatura darían lugar a deslizamientos relativos entre ambos, destruirían las anteriores propiedades y con ellas la eficacia de esta combinación.

El Portland empleado en el hormigón armado debe ser de fraguado lento. No debe tenerse almacenado más de tres o cuatro meses, porque pierde parte de su resistencia. El cemento puede conservarse durante este tiempo en sacos o en silos metálicos, de donde se extrae en el momento de su aplicación por una portilla inferior. En ambos tipos de almacenamiento no debe rebasarse el tiempo indicado y sobre todo el cemento debe ser preservado de la humedad.

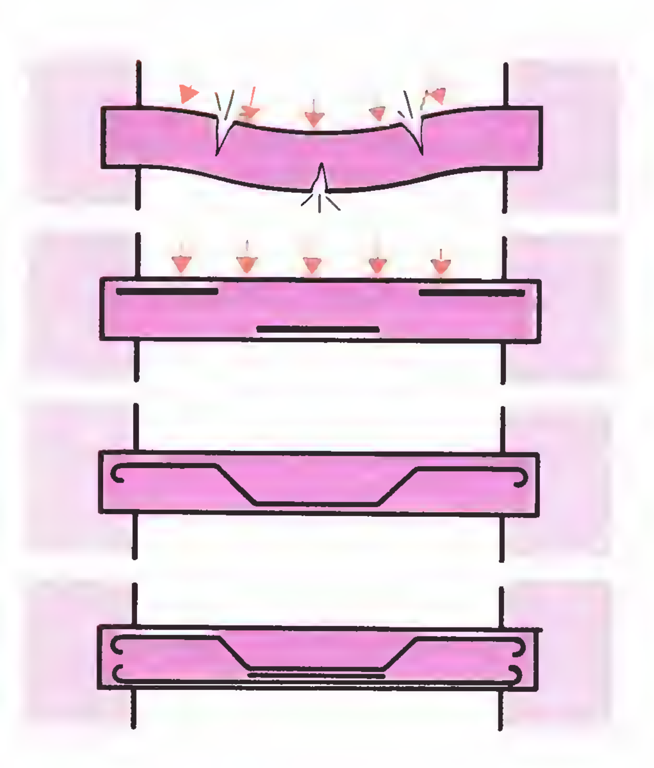
Las gravas deben ser menores de 5 cm. Son mejores las obtenidas por rotura mecánica de pedazos más grandes porque presentan formas angulosas de mayor contacto superficial con el cemento que los cantos rodados de rio por tener éstos formas redondeadas.

Para preparar un buen hormigón las arenas no deben tener granos mayores de 5 mm. Tanto si proceden del mar como del río deben ser limpias (no contener sales las primeras y limo las segundas).

APOYADOS



EMPOTRADOS



La dosificación más empleada es la de una parte de cemento, dos partes de arena y cuatro partes de grava, todo mezclado cuidadosamente. La cantidad de agua deberá producir una plasticidad suficiente para el extendido o relleno de los encofrados. Debe tenerse siempre en cuenta que un hormigón será tanto más resistente cuanto menor sea la cantidad de agua con que ha sido batido.

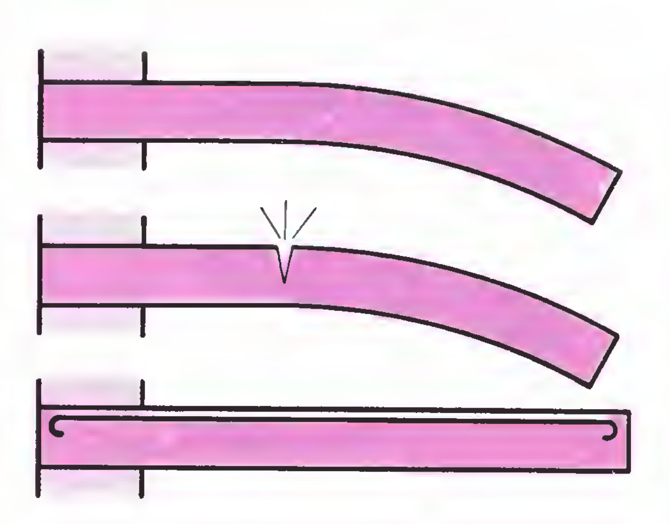
El hormigón sin armadura metálica sólo se usa en aquéllas partes donde no existan esfuerzos importantes de tracción.

La viga de la figura adjunta trabaja a la flexión producida por la carga. Al estar apoyada libremente por sus extremos se produce la flexión que, como puede apreciarse, comprime la parte superior y estira (tracción) la parte inferior. Como quiera que el hormigón no tiene capacidad de resistencia para este tipo de esfuerzo la rotura se producirá por esta parte inferior. La solución consiste en colocar las varillas de hierro en esta zona fundiendo así las propiedades específicas del hormigón y del hierro. De este modo el conjunto es apto para soportar toda clase de esfuerzos.

Cuando la viga se halla empotrada en sus extremos la flexión tendrá un carácter distinto del caso anterior, ya que entonces se producirán flexiones en las partes inferior y superior. Estas últimas se hallan localizadas cerca de los apoyos, según puede observarse en el dibujo.

La disposición de las varillas de hierro elimina la posibilidad de rotura por tracción.

Cuando la pieza de hormigón trabaja en voladizo, la parte estirada es la superior. Por esta razón las armaduras deben disponerse en una parte más alta.



Las varillas de hierro deben cumplir una serie de condiciones para asegurar un buen contacto y adherencia en el hormigón. Estas condiciones son las siguientes: dimensiones, superficie, doblado de ganchos, distancia entre varillas y con las caras exteriores, etc. Debemos advertir que todas estas condiciones se hallan incluidas en los manuales de construcción.

Para la confección del encofrado o molde, donde se introducirán las varillas y el hormigón, se utiliza la madera de pino (cuando los elementos deben tener formas especiales). Cuando las caras de la viga o pilar sean planas y a 90º suelen utilizarse unas placas metálicas, fácilmente desmontables, que proporcionan gran economía de tiempo y de madera. Este es el caso de las columnas de hormigón armado de los modernos edificios.

La operación del desencofrado no puede hacerse mientras el hormigón no esté completamente seco. Hasta este momento no presenta ninguna resistencia, pudiéndose calcular el tiempo necesario para el fraguado en dos o tres semanas. Una vez eliminado el encofrado o molde hay que mantenerlo húmedo y evitar la acción directa del Sol sobre la obra otras dos semanas.

Hoy día se preparan unas vigas de hormigón armado pretensado. Se diferencian de las ordinarias en que las varillas de hierro que van alojadas en el interior de la viga están sometidas a un esfuerzo de traccion mientras dura el fraguado del hormigón. De esta forma, y gracias a esta



tensión, la viga trabaja mejor a la flexión y llega a cubrir huecos de 6 y más metros, sólo apoyada en los extremos. De este modo se construyen locales amplios sin columnas. Estas varillas suelen tener la superficie rugosa para aumentar su adherencia con el hormigón.

LA PIEDRA COMO MATERIAL DE CONSTRUCCION

La piedra natural tiene varias procedencias: pueden ser piedras sueltas o cantos rodados, que son fragmentos de piedra movidos por las aguas o el hielo de los glaciares, y también se aplican a la construcción las piedras partidas en una cantera, que reciben el nombre de sillares si están escuadradas y de ripios si son pedazos irregulares.

Una buena piedra para la construcción debe reunir las propiedades siguientes: ser homogénea, sin vetas, sin incrustaciones, de agradable aspecto en las destinadas a sillares, capacidad de admitir labra, dureza, resistencia a los agentes atmosféricos, etc.

Las piedras más usadas actualmente son las siguientes:

Arenisca

Abunda mucho en España. Pueden apreciarse en ella los granos de arena aglutinados por un cemento arcilloso, que le proporciona un color rojizo. Algunas areniscas expuestas al aire tienen tendencia a la exfoliación (separación por capas).

Calizas

Las hay de diferentes colores, durezas y variedades. A este grupo pertenece el mármol. Algunas calizas permiten el labrado por medio de cepilladoras.

Otras piedras naturales son las cristalinas, como el granito; las de origen volcánico, como las lavas, y las que proceden de la sedimentación de aguas cargadas de cal, como la toba caliza.

Se llama mampostería cuando la construcción está hecha a base de pedazos de piedras irregulares. Si estas piedras se hallan acomodadas unas a otras con un cierto retoque se forman entonces los llamados muros ciclópeos. Cuando las piedras están desbastadas dan lugar a la construcción

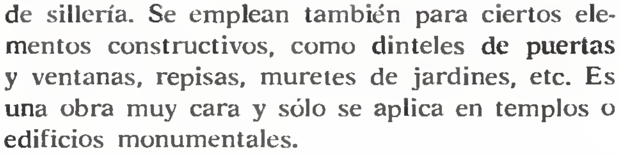


1



2

1. Muro de mampostería.
2. Muro de silleria.



de sillería. Se emplean también para ciertos elementos constructivos, como dinteles de puertas y ventanas, repisas, muretes de jardines, etc. Es una obra muy cara y sólo se aplica en templos o edificios monumentales.

Otro material empleado en la construcción para diversos fines es la PIEDRA ARTIFICIAL, fabricada en general con cemento Portland, como material aglomerante de otros de relleno, como arena, gravilla, etc. La fabricación suele hacerse por presión dejando los materiales finos en el exterior y los más bastos (de relleno) en el interior. Estos pueden llegar a la proporción de 1 y 3, respectivamente. De este modo se fabrican losas para zócalos y pavimentos, elementos para escaleras e incluso imitación a la piedra de labra.

El granito artificial tiene en la superficie pequeños fragmentos de mármol. Este material, por ser más resistente que el cemento, es muy útil para elementos como los peldaños que soportan gran desgaste. Se pule la superficie y con ello aumentan las posibilidades decorativas, favorecidas también por admitir este material un coloreado artificial. Cuando estos elementos tienen dimensiones aconsejables se incorporan en su masa unas varillas o alambres de hierro. De este modo aumenta su resistencia, pero exigen una completa impermeabilización para proteger el hierro.

PIEZAS CERAMICAS PARA LA CONSTRUCCION

Ladrillos

Son elementos constructivos en forma de paralelepípedos de variadas dimensiones, macizos o huecos.

Se fabrican a base de arcilla amasada con agua y moldeada a mano o a máquina. En el primer procedimiento se utilizan unas gavetas rectangulares, que facilitan el trabajo al ser empleadas como molde. En el moldeado a máquina es una prensa la que realiza esta misión.

Después del moldeado se someten algunos tipos a un segundo prensado para obtener mejor calidad en el acabado superficial y en las dimensiones.

Los ladrillos crudos se colocan de canto, al aire libre, o en cobertizos, para su recocido. Seguidamente pasan al horno de cocción, que puede ser intermitente o continuo. Este último es el que se impone por el mayor aprovechamiento de calor.

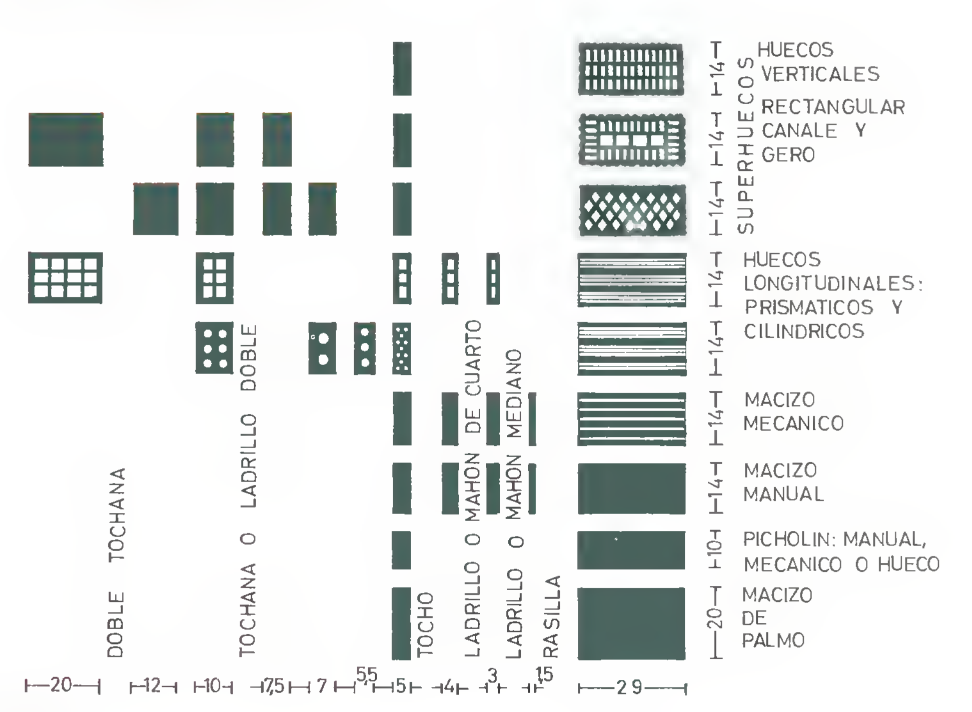
Según la temperatura de cochura se obtienen diversos productos en los cuales queda principalmente afectado el acabado y porosidad (los poco porosos son útiles en las primeras heladas, pues evitan la humedad).

Para obtener productos no porosos se fabrican piezas barnizadas con esmalte por una sola cara. De este modo se obtienen ladrillos esmaltados de diferentes tonos: tejas, baldosas, azulejos, etc.

Los ladrillos huecos se fabrican a base de hacer salir la pasta a presión por un orificio, que tiene núcleos para producir los huecos. Estos pueden ser perpendiculares a las caras mayores o paralelos a las mismas. Se corta esta barra de pasta por medio de un alambre tensado y se forman los ladrillos.

En forma gráfica, damos una idea de las dimensiones más corrientemente dadas a los ladrillos.

ZONA BARCELONA



ZONA MADRID

MACIZO PRENSADO
HUECO VERTICAL
HUECO VERTICAL
HUECO ESPECIAL
HUECO LONGITUDINAL
PERFORADO
MACIZO DE DOS AGUJEROS
MACIZO DE VARIOS AGUJEROS
MACIZO CERAMICO (MECANICO)
MACIZO DE TEJAR (MANUAL)

TRIPLE
DOBLE
GAFAS TIPO BILBAO
SENCILLO (GAFINES)
SENCILLO ESPAÑA
RASILLA

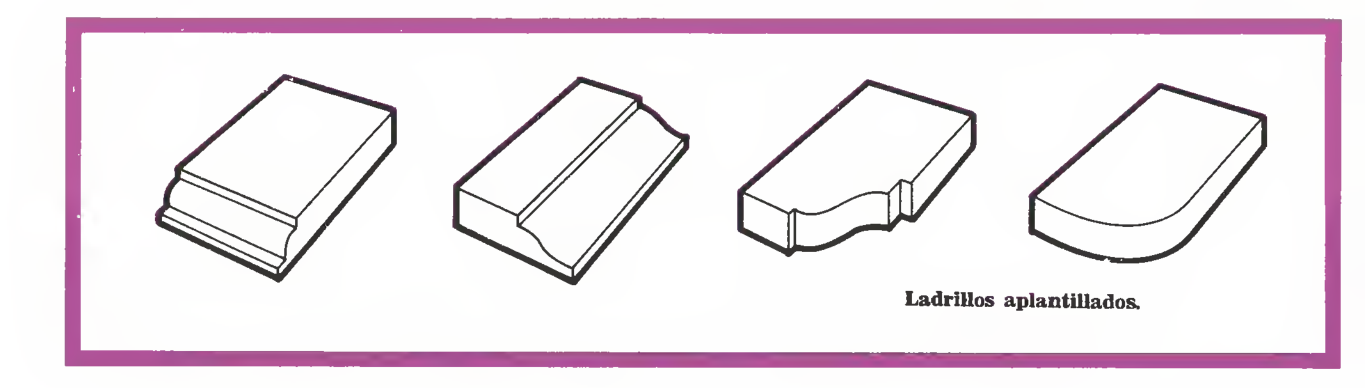
12 9 7 5 4 3 25

NORMALIZADOS DIN

FORMATOS DERIVADOS DEL NORMAL
FORMATO NORMAL
FORMATO DELGADO
LADRILLOS MACIZOS
LADRILLOS HUECOS
BLOQUES CERAMICOS

23,8 17,5 15,5 11,3 7,1 7,1 5,2 24
11,5 11,5 17,5 24

El ladrillo desempeña en la construcción una doble misión, o sea, como elemento de carga para soportar los pesos de la construcción (ladrillo macizo) y de relleno (ladrillo hueco) cuando este peso lo soporta una estructura de hierro u hormigón. En el primer caso no debe rebasarse el coeficiente de trabajo de 30 kg/cm² para los macizos y de 9 kg/cm² para los huecos.



Ladrillos aplantillados.

Otros ladrillos especiales son los refractarios. fabricados con tierras especiales a base de alúmina o magnesia que resisten el fuego y las elevadas temperaturas. Se emplean para el revestimiento de hornos, hogares, chimeneas, etc.

Los ladrillos aplantillados se fabrican en gran diversidad de formas y en cuatro o seis tonalidades distintas. Sirven para construir cornisas, capiteles y otros adornos.

La colocación de los ladrillos debe hacerse en estado húmedo. De no ser así el ladrillo absorberá el agua del mortero y de este modo impedirá su correcto fraguado, con la consiguiente disminución de su resistencia.

* * * * *

En muy pocas páginas hemos hecho desfilar ante usted una serie de conocimientos que representan uno de tantos esfuerzos colectivos realizados por científicos y técnicos, en busca de nuevos materiales, de nuevas formas de utilización que cristalizan en constantes progresos. Si hemos podido resumir en unas pocas palabras lo que la ciencia humana ha podido descubrir a través de incontables horas de esfuerzo, éste habrá sido nuestro mérito.


E-25
APENDICE
3°

FICHAS TECNICAS 25 LUMINOTECNIA



I

Coeficientes de transmisión, absorción y reflexión y cualidad difusora de los materiales empleados en aparatos de iluminación

		REFLEXION (r)	Difusión	ABSORCION (a)	TRANSMISION (t)
CUERPOS OPACOS	Acero pulimentado	0,6	nula	0,4	—
	Aluminio pulimentado	0,7	nula	0,3	—
	Aluminio mate	0,6	media	0,4	—
	Bronce pulimentado	0,7	nula	0,3	—
	Cobre bruñido	0,5	nula	0,5	—
	Cobre pulimentado	0,6	nula	0,4	—
	Cromo pulimentado	0,6	nula	0,4	—
	Espejo amalgamado	0,7	nula	0,3	—
	Esmalte plateado	0,6	media	0,4	—
	Espejo plateado	0,85	nula	0,15	—
	Hojalata no oxidada	0,7	nula	0,3	—
	Níquel pulimentado	0,55	nula	0,45	—
	Papel negro	0,05	elevada	0,95	—
	Plata pulimentada	0,95	nula	0,05	—
CUERPOS TRASLÚCIDOS	Alabastro	0,55	elevada	0,20	0,25
	Algodón blanco	0,57	elevada	0,08	0,35
	Cartón	0,75	elevada	0,28	0,10
	Celofán blanco	0,55	elevada	0,55	0,17
	Celofán amarillo	0,36	elevada	0,15	0,09
	Mármol	0,60	elevada	0,30	0,10
	Papel secante blanco	0,82	elevada	0,17	0,01
	» blanco	0,80	elevada	0,18	0,02
	» amarillo cromo	0,60	elevada	0,38	0,02
	» anaranjado	0,50	elevada	0,48	0,02
	» amarillo	0,40	elevada	0,57	0,03
	» rosa	0,35	elevada	0,60	0,05
	» marrón	0,20	elevada	0,78	0,02
	» verde	0,10	elevada	0,88	0,02
	» rojo	0,12	elevada	0,86	0,02
	» azul	0,10	elevada	0,86	0,04
	Pergamino	0,48	elevada	0,10	0,42
	Seda blanca	0,30	elevada	0,05	0,65
	Vidrio opalino denso	0,55	elevada	0,15	0,3
	Vidrio opalino triple blanco	0,35	elevada	0,10	0,55
	» » » rojo	0,65	elevada	0,30	0,05
	» » » naranja	0,65	elevada	0,25	0,10
	» » » amarillo	0,65	elevada	0,25	0,15
	» » » verde	0,62	elevada	0,30	0,08
	» » » azul	0,67	elevada	0,32	0,01
Cuerpos llamados corrientemente transparentes	Vidrio claro	0,08	nula	0,02	0,90
	» esmerilado	0,12	débil	0,08	0,80
	» satinado	0,10	débil	0,05	0,85
	» trabajado	0,15	débil	0,05	0,80
	» estirado	0,20	nula	0,20	0,60





ELECTRICIDAD

II

Coeficientes de reflexión del techo y de las paredes de un local

Techos claros	0,7
» tonalidad media	0,5
» oscuros	0,3
Paredes claras	0,5
» tonalidad media	0,3
» oscuros	0,1

Pinturas mates

Blanco	0,88
Gris muy claro	0,83
» claro	0,75
» medio	0,61
» oscuro	0,25
Crema muy claro	0.81
» claro	0,79
Amarillo muy claro	0,75
» claro	0,70
» medio	0,65
Rosa claro	0,70
» medio	0,60
Azul muy claro	0,75
» claro	0,70
» medio	0,55
» oscuro	0,08
Beige	0,45
Oro viejo	0,40
Verde claro	0,70
» medio	0,50
» oscuro	0,07
Rojo claro	0,40
» oscuro	0,10
Marrón	0,10
Negro	0,03

Empapelado mate

Blanco	0,70
Crema	0,69
Paja	0,65
Gris	0,65
Marrón	0,65
Canela	0,65
Gris perla	0,35
Gris pizarra	0,12
Negro	0,04

Madera (sin barnizar)

Pino	0,42
Nogal	0,16
Roble	0,15
Caoba	0,12

Materiales de construcción mates

Enyesado	0,88
Piedra de talla	0,40
Piedra artificial	0,35
Cemento	0,35
Ladrillo amarillo	0,30
Ladrillo rojo	0,25





ELECTRICIDAD

III

Niveles mínimos de iluminación para alumbrado general

	E en Lux
Viviendas	
Alumbrado general de las habitaciones	50 a 100
Alumbrado suplementario (mesa cocina, espejo lavabo, etc.).	150 a 200
Lugar de lectura, despacho	150
Costura	200
Modistería y Sastrería	
Trabajo sobre tonos claros	200 a 300
Trabajo sobre tonos oscuro	300 a 1000
Despachos	
Vestíbulos, salas de espera, pasillos, lavabos	70
Oficinas, archivos	150
Salas de dibujo, máquinas contables	300
Almacenes y comercios	
Pasillos	100
Mostradores	300 a 500
Vitrinas, presentación sobre mostrador	500 a 1000
Presentación atractiva en vitrinas	1000 a 2000
Escuelas	
Pasillos, lavabos, comedores, dormitorios	70
Salas de clase o de estudio:	
en las mesas o pupitres	150
en la pizarra	300
Salas de dibujo	200
Salas de labores	200
Garages	
Garage	70
Taller de reparaciones	200

Salas de juegos	
Billar	200
Ping-pong	200
Tenis, hockey sobre patines, baloncesto	150 a 300
Industria	
Almacén, embalaje y expediciones	70 a 100
Muestreo y control del color	2000
Mecánica:	
Trabajo de grandes piezas	100
» » piezas medianas	200 a 300
» finos, rectificación de pequeñas piezas	300 a 500
Verificación y control de las piezas	500 a 2000
Fundición:	
Moldeo y llenado	70
Fabricación de noyos	200
Forja:	
Grandes piezas	70
Piezas medianas y pequeñas	100
Carpintería:	
Aserrado	70
Trabajo con máquina, encolado, acabado	150
Tonelería	150
Pintura:	
Manual o con pistola	200
Barnizado	300
Relojería:	500 a 1000
Artes gráficas:	150
Moldes, prensas	
Pruebas de imprenta, litografía	500
Composición, linotipia	200
Laboratorios:	300

FICHAS TECNICAS 28



ELECTRICIDAD

LUMINOTECNIA

IV

Indice del local. Anchura: de 2'5 a 6'5 m.

Altura del techo en m		ALUMBRADO INDIRECTO Y SEMI-INDIRECTO										
		2,50 a 3	3 a 3,50	3,50 a 4	4 a 5	5 a 6	6,50 a 7,50	7,50 a 9	9,50 a 11	11,50 a 15		
Altura de las lámparas sobre el suelo en m		**ALUMBRADO DIRECTO Y PREDOMINANTEMENTE DIRECTO**										
		2	2,50	2,50 a 3	3 a 3,50	3,50 a 4	4 a 5	5 a 6	6,50 a 7,50	7,50 a 9	9,50 a 11	11,50 a 15
Ancho en m	**Largo en m**		**INDICE DEL LOCAL**									
2,50	2,50 a 3	H	I	J	J							
	3 a 4	H	I	I	J							
	4 a 6	G	H	I	J	J						
	6 a 9	G	G	H	I	J	J					
	9 a 13	F	G	H	I	J	J	J				
	13 y más	E	F	G	H	I	J	J				
3 (3 a 3,50)	3 a 4	G	H	I	J	J						
	4 a 6	G	H	I	J	J	J					
	6 a 9	F	G	H	I	J	J	J				
	9 a 13	F	G	G	H	I	J	J				
	13 a 18	E	F	G	H	I	J	J				
	18 y más	E	F	F	H	H	I	J				
3,50 (3,50 a 4)	3 a 4	G	H	I	I	J	J	J				
	4 a 6	F	G	H	I	J	J	J				
	6 a 9	F	G	G	H	I	J	J				
	9 a 13	E	F	G	H	I	J	J				
	13 a 18	E	F	F	G	H	I	J				
	18 y más	E	E	F	G	H	I	J				
4,50 (4 a 4,50)	4 a 6	F	G	H	H	I	J	J				
	6 a 9	E	F	G	H	I	J	J				
	9 a 13	E	F	F	G	H	I	J	J			
	13 a 18	E	E	F	F	H	I	J	J	J		
	18 a 27	D	E	E	F	G	H	I	J	J		
	27 y más	D	E	E	F	F	G	I	J	J		
5 4,50 a 5,50)	4 a 6	E	F	G	H	I	J	J				
	6 a 9	E	F	F	G	H	I	J				
	9 a 13	D	E	F	G	H	H	J	J	J		
	13 a 18	D	E	E	F	G	G	I	J	J	J	
	18 a 33	D	E	E	F	G	G	I	J	J	J	
	33 y más	C	D	E	E	F	G	H	I	J	J	
6 6,50) (5,50 a	6 a 9	D	E	F	G	H	I	J	J			
	9 a 13	D	E	E	F	G	H	I	J	J		
	18 a 18	D	D	E	E	F	G	I	J	J	J	
	18 a 27	C	D	E	E	F	G	H	J	J	J	
	27 a 42	C	D	D	E	F	F	H	I	I	J	J
	42 y más	C	D	D	E	F	F	H	H	I	J	J

FICHAS TECNICAS 29

LUMINOTECNIA



ELECTRICIDAD

V

Indice del local. Anchura: de 6'5 a 27 m. o más

Altura del techo en m		ALUMBRADO INDIRECTO Y SEMI-INDIRECTO										
		2,50 a 3	3 a 3,50	3,50 a 4	4 a 5	5 a 6	6,50 a 1,50	7,50 a 9	9,50 a 11	11,50 a 15		
Altura de las lámparas sobre el suelo en m		**ALUMBRADO DIRECTO Y PREDOMINANTEMENTE DIRECTO**										
		2	2,50	2,50 a 3	3 a 3,50	3,50 a 4	4 a 5	5 a 6	6,50 a 7,50	7,50 a 9	9,50 a 11	11,50 a 15
Ancho en m	**Largo en m**											
7,50 (6,50 a 8)	6 a 9	D	E	E	F	G	H	I	J	J		
	9 a 13	C	D	E	F	G	G	I	J	J		
	13 a 18	C	D	D	E	F	G	H	I	J	J	
	18 a 27	C	D	D	E	F	F	H	I	J	J	J
	27 a 42	C	C	D	E	E	F	G	H	I	J	J
	42 y más	C	C	D	E	E	F	G	H	I	I	J
9 (8 a 10)	9 a 13	C	D	D	E	F	G	H	I	J	J	
	13 a 18	C	C	D	D	F	F	H	H	I	J	
	18 a 27	B	C	C	D	E	F	G	H	I	J	J
	27 a 42	B	C	C	D	E	E	F	G	H	I	J
	42 a 60	B	C	C	D	E	E	F	G	H	I	J
	60 y más	B	C	C	D	E	E	F	G	H	I	J
11 (10 a 12)	9 a 13	B	C	D	E	F	F	H	I	I	J	
	13 a 18	B	C	C	D	E	F	G	H	I	J	
	18 a 27	A	C	C	C	E	E	F	H	H	J	J
	27 a 42	A	B	C	C	D	E	F	G	H	I	J
	42 a 60	A	B	C	C	D	E	F	F	G	H	I
	60 y más	A	B	C	C	D	E	F	F	G	H	I
13 (12 a 14)	13 a 18	A	B	C	C	E	F	G	H	I	I	J
	18 a 27	A	B	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	27 a 42	A	B	B	C	D	D	E	F	G	H	J
	42 a 60	A	A	B	C	D	D	E	F	G	H	I
	60 y más	A	A	B	C	D	D	E	F	F	G	I
15 (14 a 17)	13 a 18	A	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	18 a 27	A	A	B	C	C	D	F	F	G	H	J
	27 a 42	A	A	A	C	C	D	E	F	F	G	I
	42 a 60	A	A	A	C	C	D	E	E	F	G	I
	60 y más	A	A	A	C	C	D	E	E	F	G	H
18 (17 a 20)	18 a 27	A	A	A	B	C	D	E	F	G	H	I
	27 a 42	A	A	A	B	C	C	D	E	F	G	H
	42 a 60	A	A	A	A	B	C	D	E	E	F	H
	60 y más	A	A	A	A	B	C	D	E	E	F	G
23 (20 a 27)	18 a 27	A	A	A	A	B	C	D	E	F	G	I
	27 a 42	A	A	A	A	B	C	D	E	F	F	H
	42 a 60	A	A	A	A	A	B	C	D	E	F	G
	60 y más	A	A	A	A	A	B	C	D	E	F	G
27 y más	27 a 42	A	A	A	A	A	B	C	D	E	F	G
	42 a 60	A	A	A	A	A	B	C	D	E	F	G
	60 y más	A	A	A	A	A	B	C	C	D	F	F

FICHAS TECNICAS 30

ELECTRICIDAD

AFHA

LUMINOTECNIA

VI

75% MUY CLARO. 50% CLARO. 30% OSCURO. 10% MUY OSCURO

Coeficiente de utilización - Incandescencia

APARATO DE ALUMBRADO (Curva fotométrica / Tipo)	INDICE DEL LOCAL	K	FACTORES DE REFLEXION (1) DEL TECHO Y PAREDES r_p — r_t 75 % — r_p 50 %	r_t 75 % — r_p 30 %	r_t 75 % — r_p 10 %	r_t 50 % — r_p 50 %	r_t 50 % — r_p 30 %	r_t 50 % — r_p 10 %
			COEFICIENTE DE UTILIZACION					
DIFUSORES DE VIDRIO OPALINO (Alumbrado semidirecto / Alumbrado mixto)	J	0,6	0,22	0,17	0,14	0,20	0,16	0,13
	I	0,8	0,27	0,22	0,19	0,25	0,21	0,18
	H	1	0,31	0,26	0,23	0,28	0,24	0,21
	G	1,25	0,35	0,30	0,26	0,31	0,27	0,24
	F	1,5	0,38	0,33	0,29	0,34	0,30	0,27
	E	2	0,42	0,38	0,33	0,38	0,34	0,31
	D	2,5	0,46	0,41	0,37	0,41	0,37	0,34
	C	3	0,49	0,45	0,40	0,43	0,39	0,36
	B	4	0,53	0,48	0,44	0,47	0,43	0,40
	A	5	0,55	0,51	0,47	0,49	0,45	0,42
REFLECTORES DE PLANCHA ESMALTADA (Alumbrado directo)	J	0,6	0,34	0,29	0,24	0,34	0,29	0,24
	I	0,8	0,42	0,38	0,34	0,42	0,37	0,33
	H	1	0,46	0,43	0,39	0,45	0,42	0,39
	G	1,25	0,50	0,47	0,43	0,49	0,46	0,43
	F	1,5	0,53	0,50	0,46	0,52	0,49	0,46
	E	2	0,58	0,55	0,51	0,57	0,54	0,51
	D	2,5	0,62	0,59	0,56	0,61	0,58	0,56
	C	3	0,64	0,61	0,58	0,63	0,60	0,58
	B	4	0,67	0,65	0,63	0,66	0,64	0,62
	A	5	0,69	0,67	0,65	0,67	0,66	0,64
REFLECTORES PROFUNDOS DE ALUMINIO PULIDO (Alumbrado directo)	J	0,6	0,37	0,32	0,27	0,37	0,32	0,27
	I	0,8	0,46	0,42	0,36	0,46	0,41	0,37
	H	1	0,50	0,47	0,45	0,49	0,46	0,43
	G	1,25	0,55	0,50	0,47	0,52	0,50	0,47
	F	1,5	0,58	0,55	0,42	0,58	0,55	0,52
	E	2	0,62	0,60	0,57	0,62	0,59	0,57
	D	2,5	0,65	0,62	0,59	0,64	0,62	0,59
	C	3	0,68	0,66	0,64	0,67	0,65	0,63
	B	4	0,70	0,68	0,66	0,68	0,67	0,65
	A	5	0,74	0,71	0,68	0,72	0,69	0,67
ALUMBRADO INDIRECTO	J	0,6	0,15	0,12	0,10	0,11	0,09	0,07
	I	0,8	0,18	0,15	0,13	0,13	0,11	0,09
	H	1	0,22	0,19	0,16	0,15	0,13	0,11
	G	1,25	0,25	0,22	0,19	0,18	0,15	0,13
	F	1,5	0,27	0,24	0,21	0,20	0,17	0,15
	E	2	0,30	0,27	0,25	0,22	0,19	0,17
	D	2,5	0,34	0,31	0,28	0,24	0,22	0,20
	C	3	0,36	0,33	0,30	0,26	0,24	0,22
	B	4	0,40	0,37	0,34	0,28	0,26	0,24
	A	5	0,42	0,39	0,37	0,30	0,28	0,26

Coeficiente de utilización - Fluorescencia

APARATO DE ALUMBRADO (Curva fotométrica / Tipo)	INDICE DEL LOCAL	K	r 75 % — rp 50 %	r 75 % — rp 30 %	r 75 % — rp 10 %	r 50 % — rp 50 %	r 50 % — rp 30 %	r 50 % — rp 10 %
			FACTORES DE REFLEXION (1) DEL TECHO Y PAREDES r_p — COEFICIENTE DE UTILIZACION					
Lámparas fluorescentes desnudas	J	0,6	0,24	0,19	0.16	0,21	0,17	0,14
	I	0,8	0,30	0,25	0,21	0,25	0,22	0,19
	H	1	0,33	0,28	0,25	0,29	0,25	0,22
	G	1,25	0,37	0,32	0,29	0,32	0,28	0,25
	F	1,5	0,41	0,35	0,31	0,35	0,30	0,27
	E	2	0,45	0,40	0,36	0,39	0,35	0,31
	D	2,5	0,44	0,44	0,39	0,42	0,38	0,35
	C	3	0,52	0,47	0,42	0,44	0,40	0,37
	B	4	0,56	0,52	0,47	0,47	0,43	0,41
	A	5	0,59	0,54	0,50	0,50	0,46	0,43
Lámparas fluorescentes provistas de pantalla difusora	J	0,6	0,21	0,17	0,14	0,18	0,15	0,13
	I	0,8	0,27	0,22	0,19	0,23	0,20	0,17
	H	1	0,30	0,25	0,23	0,26	0,23	0,20
	G	1,25	0,34	0,29	0,26	0,29	0,25	0,23
	F	1,5	0,37	0,32	0,28	0,31	0,27	0,24
	E	2	0,40	0,36	0,32	0,35	0,31	0,28
	D	2,5	0,44	0,40	0,35	0,37	0,34	0,31
	C	3	0,46	0,42	0,38	0,41	0,36	0,33
	B	4	0,50	0,46	0,43	0,43	0,39	0,37
	A	5	0,53	0,49	0,45	0,45	0,41	0,39
REFLECTOR INDUSTRIAL — Alumbrado directo	J	0,6	0,32	0,27	0,24	0,31	0,27	0,24
	I	0,8	0,39	0,35	0,32	0,39	0,35	0,32
	H	1	0,43	0,40	0,37	0,42	0,39	0,36
	G	1,25	0,47	0,43	0,40	0,45	0,42	0,40
	F	1,5	0,49	0,46	0,43	0,47	0,45	0,43
	E	2	0,53	0,50	0,47	0,52	0,49	0,47
	D	2,5	0,57	0,54	0,52	0,55	0,54	0,51
	C	3	0,59	0,57	0,53	0,58	0,56	0,54
	B	4	0,61	0,58	0,57	0,59	0,58	0,57
	A	5	0,64	0,60	0,59	0,61	0,60	0,58
LUMINARIA — Alumbrado semidirecto	J	0,6	0,27	0,24	0,29	0,27	0,23	0,21
	I	0,8	0,31	0,30	0,29	0,30	0,28	0,27
	H	1	0,37	0,34	0,32	0,33	0,30	0,29
	G	1,25	0,39	0,37	0,36	0,36	0,34	0,32
	F	1,5	0,42	0,40	0,41	0,37	0,36	0,34
	E	2	0,45	0,43	0,37	0,41	0,38	0,37
	D	2,5	0,48	0,45	0,43	0,42	0,41	0,40
	C	3	0,50	0,47	0,45	0,44	0,42	0,41
	B	4	0,52	0,49	0,47	0,46	0,44	0,43
	A	5	0,54	0,51	0,49	0,47	0,46	0,44
LUMINARIAS — a: Alumbrado semi-indirecto; b: Alumbrado sedidirecto	J	0,6	0,22	0,20	0,18	0,22	0,20	0,18
	I	0,8	0,25	0,23	0,21	0,24	0,21	0,19
	H	1	0,28	0,25	0,24	0,25	0,24	0,21
	G	1,25	0,31	0,30	0,27	0,29	0,26	0,25
	F	1,5	0,34	0,32	0,30	0,31	0,29	0,27
	E	2	0,36	0,35	0,33	0,35	0,31	0,30
	D	2,5	0,40	0,38	0,35	0,37	0,35	0,33
	C	3	0,42	0,40	0,38	0,41	0,38	0,37
	B	4	0,45	0,42	0,40	0,44	0,42	0,40
	A	5	0,45	0,45	0,43	0,46	0,44	0,42

(1) 75 % muy claro - 50 % claro - 30 % oscuro - 10 % muy oscuro.



Factor de conservación de una instalación de alumbrado

ALUMBRADO		FUENTE LUMINOSA		Entretenimiento	Factor de conservación d
Directo	— Incandescencia — Descarga	Reflector esmaltado		Bueno Medio Malo	1,35 1,5 1,8
Directo	— Incandescencia — Descarga	Reflector aluminio		Bueno Medio Malo	1,25 1,35 1,45
Directo	— Incandescencia — Descarga	Reflector intemperie con carátula protectora de vidrio.		Bueno Medio Malo	1,25 1,3 1,35
Directo	— Descarga en vapor Hg alta tensión	Reflector tipo industrial		Bueno Medio Malo	1,45 1,65 2,—
Directo	— Fluorescente	Reflector tipo industrial		Bueno Medio Malo	1,45 1,65 2,—
Directo	— Incandescencia — Fluorescencia — Descarga	Lámpara con reflector incorporado		Bueno Medio Malo	1,25 1,35 1,45
Semi-indirecto	— Fluorescencia	Lámparas desnudas		Bueno Medio Malo	1,35 1,55 1,8
Semi-indirecto	— Fluorescencia	Luminaria con lados y fondo de plástico		Bueno Medio Malo	1,45 1,65 2,—
Directo	— Fluorescencia	Techo luminoso con 50 % de transmisión y 80 % de reflexión en la cavidad		Bueno Medio Malo	1,50 1,80 2,20
Indirecto	— Fluorescencia	Cornisa luminosa		Bueno Medio Malo	1,50 1,80 2,20





IX

Altura de suspensión y separación entre aparatos de alumbrado

ALTURA DEL TECHO (metros)	ALUMBRADO DIRECTO, SEMIDIRECTO Y MIXTO		ALUMBRADO INDIRECTO Y SEMI-INDIRECTO	
	ALTURA DE LOS APARATOS respecto al suelo (metros)	DISTANCIA MAXIMA ADMISIBLE ENTRE APARATOS (metros)	DISTANCIA DE LOS APARATOS AL TECHO (metros)	DISTANCIA MAXIMA ADMISIBLE ENTRE APARATOS (metros)
2,70	2,10	2,70	0,5 a 0,9	3
3	2,40	3	0,6 a 0,9	3,75
3,30	2,70	3,50	0,6 a 0,9	4
3,60	3	4	0,75 a 1,2	4,5
3,90	3,30	4,50	0,9 a 1,2	5
4,20	3,60	5	0,9 a 1,2	5,75
4,50	3,60	5,50	0,9 a 1,2	6
4,80	3,60	6,—	1,2 a 1,5	6,5
5,40	4,20	6,50	1,2 a 1,5	7
6	4,80	7,50	1,2 a 1,8	8
9	7,20	12,—	1,8 a 2,5	12

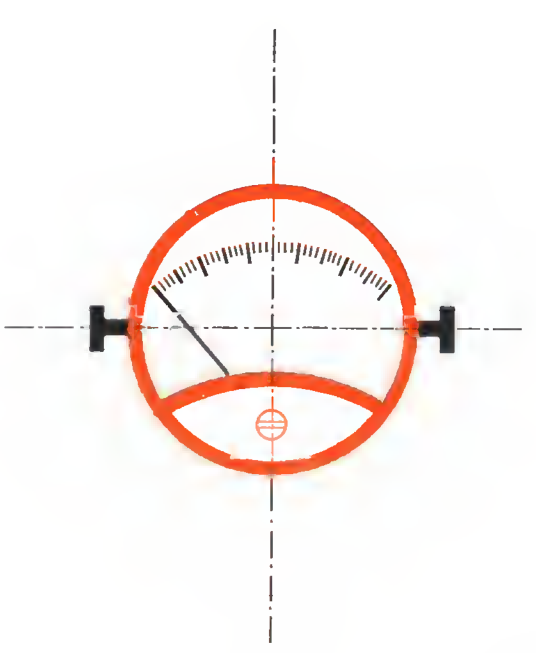
E- 25

APENDICE



ELECTROMETRIA

Medición de resistencias
Resistencia volumétrica
Resistencia superficial
Resistencia de líquidos aislantes
Voltímetros y amperímetros de hierro móvil



LECCION Nº 4



4

CASOS PARTICULARES DE MEDICION DE RESISTENCIAS

Medida de la resistividad volumétrica de una placa aislante

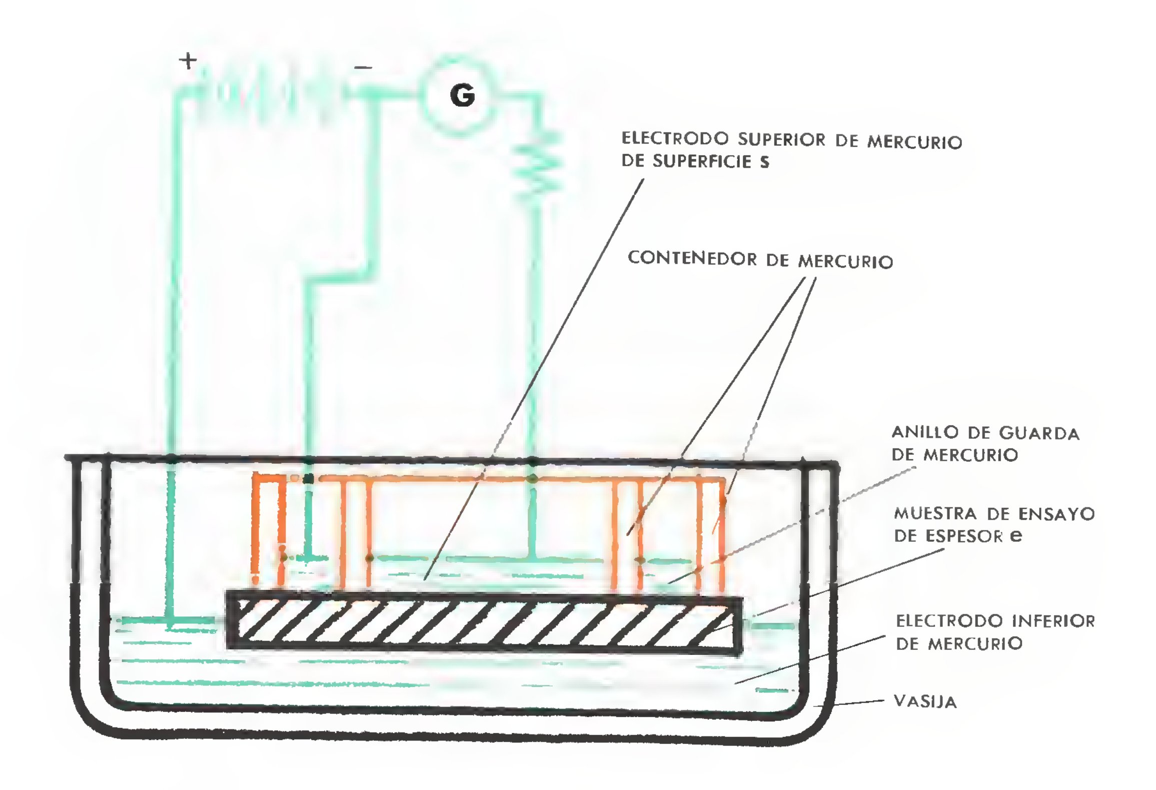
Para la medición de la resistividad volumétrica de una placa aislante, ésta debe ser preparada previamente. La placa aislante, perfectamente planeada, deberá secarse a la estufa con aire caliente y durante varias horas, a temperaturas que oscilan entre 50° C y 200° C, según el material. Una pesada antes y después del secado permite evaluar la absorción de humedad. Cuando el peso no disminuya más, la placa se considerará perfectamente seca. Una vez seca, se limpiará cuidadosamente con éter. La primera figura muestra la medida de la resistividad volumétrica de una placa aislante por el método de comparación con el dispositivo de anillo de guarda.

V
− +
SHUNT UNIVERSAL
G
R (de 1 a 10 M Ω)
R Protección 100000 Ω
2
0
1
ELECTRODO ① AREA S
ANILLO DE GUARDA
PLACA AISLANTE DE ESPESOR e
ELECTRODO ②
ELECTRODO ①
ANILLO DE GUARDA

Los electrodos pueden ser de latón o de mercurio. Cuando son de latón, es conveniente grafitarlos y utilizar hojas de estaño engrasadas con vaselina para asegurar una continuidad perfecta de la superficie de contacto aislante-electrodo. Una presión de 10 a 50 g/cm, asegurada por un peso de algunos kilos, mejora el contacto.

La figura reproduce la medición anterior efectuada con electrodos de mercurio.

Si S es el área en cm del electrodo superior



y e, el espesor medio de la muestra en centímetros y R la resistencia medida en M (megohmios), la resistividad volumétrica será:

$$v = \frac{R\,S}{e} \text{ Megohmios-centímetro}$$

Medida de la resistividad superficial de una placa

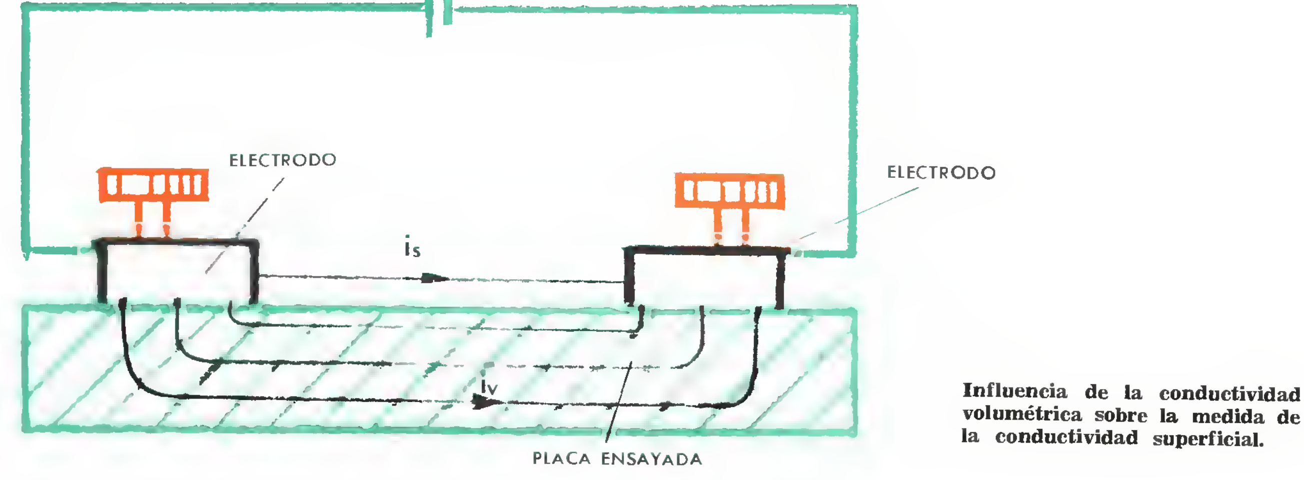
La conductividad superficial de una placa aislante se debe:

1) a una película de agua absorbida por la superficie de la placa;

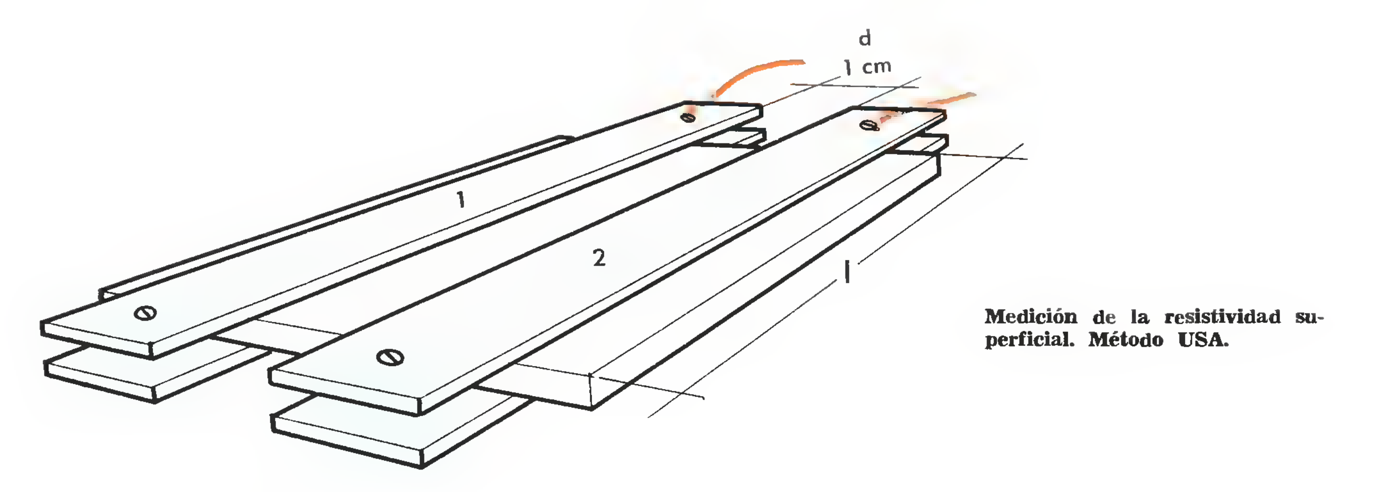
2) a una capa de humedad depositada sobre la placa, debida al aumento del grado higrométrico de la atmósfera. Esta humedad se evapora después de un día de colocada la placa en la estufa o un local seco.

La conductividad superficial no es una característica del aislante, excepto si el aislante es insensible a las variaciones del grado de humedad atmosférica.

Si aplicamos una diferencia de potencial entre dos electrodos metálicos, colocados sobre una placa aislante (véase figura), una corriente volumétrica i_v se junta a la corriente superficial i_s.



Influencia de la conductividad volumétrica sobre la medida de la conductividad superficial.



Medición de la resistividad superficial. Método USA.

Se utilizan distintos sistemas para la medición de la resistividad superficial. A continuación describiremos algunos de los más utilizados.

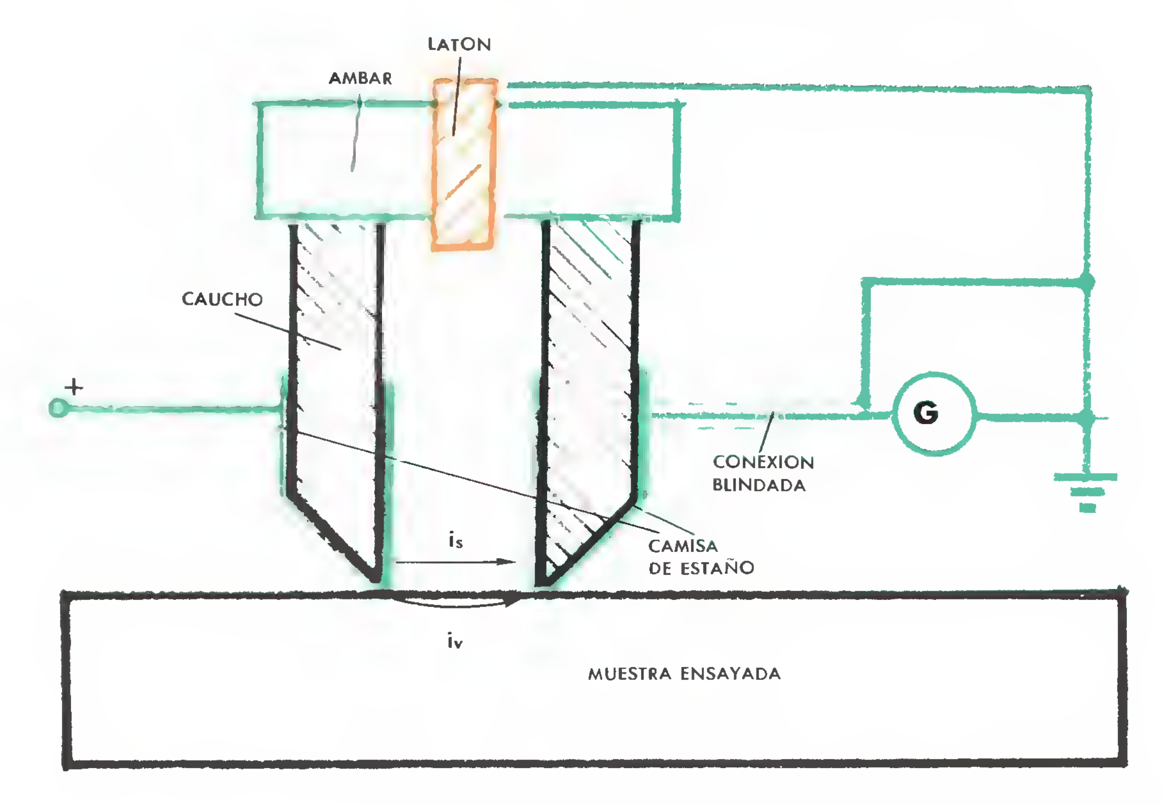
Puede medirse la resistividad superficial utilizando cuatro tiras metálicas en la forma que se representa en la figura adjunta.

La separación entre las tiras metálicas «1» y «2» es de 1 cm. Para mejorar el contacto se intercala entre las tiras y la placa aislante una hoja de estaño. La resistividad superficial viene dada por la ecuación siguiente:

$$= \frac{2R\ 1}{d} = \frac{2R\ 1}{1} = 2R\ 1 \text{ (megohmios-cm)}$$

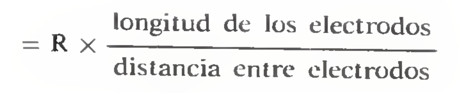
Siendo R la resistencia medida y 1 en centímetros. Este método es muy utilizado en EE. UU., siempre que la resistencia de aislamiento volumétrica sea elevada; en caso contrario, es preciso hacer la corrección según la resistividad volumétrica del material.

El método alemán, normas V.D.E., utiliza dos electrodos formados por dos cuchillos de caucho de 10 cm., recubiertos de una hoja de estaño y colocados paralelamente a 1 cm. de distancia. La figura representa este sistema.



Método normalizado por la V.D.E. alemana para la medida de la resistividad superficial.

En este sistema la corriente volumétrica no es nula, pero sí muy débil, debido a la poca superficie de contacto de los electrodos. La resistividad superficial definida como la resistencia de una superficie de 1 cm. será:



$$= R \times \frac{\text{longitud de los electrodos}}{\text{distancia entre electrodos}}$$

Medida de la resistividad de líquidos aislantes

La resistividad de los líquidos aislantes puede determinarse aproximadamente utilizando el recipiente que representamos en sección.

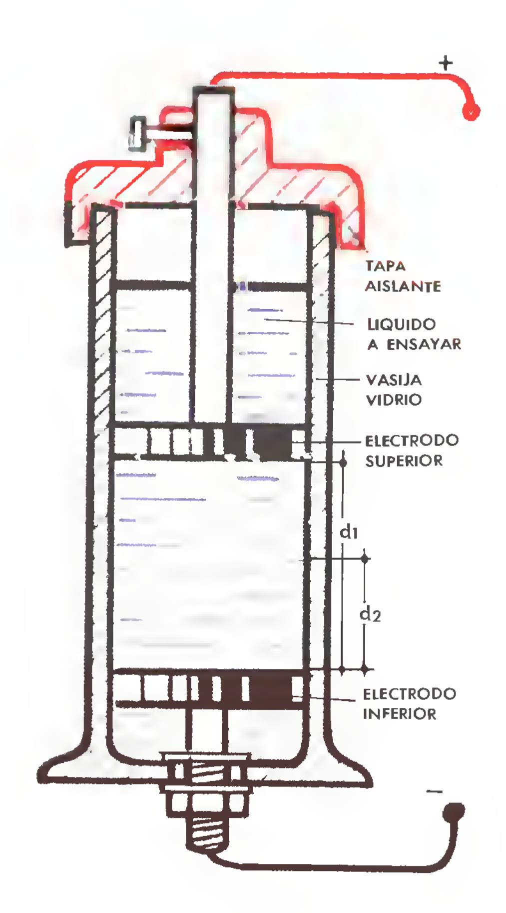
Para efectuar la medición, se vierte el contenido a ensayar en la vasija cilíndrica de vidrio reproducida en la figura. Los electrodos son cilíndricos y planos, debiendo estar bien ajustados a la vasija. El material utilizado para los electrodos es el de platino o bien recubiertos con una gruesa capa de oro. El electrodo superior es móvil, para poder regular la distancia, pues la lectura de resistencia debe hacerse a distintas separaciones de electrodos. Suponiendo que la pérdida por el vidrio es despreciable y constante el efecto producido por los electrodos, se tendrá:

resistividad volumétrica =

$$= \frac{S\ (R - R)}{d - d} \text{ Megohmios-centímetro.}$$

S = superficie de los electrodos en cm.
R = resistencia leída a la distancia d.
R = resistencia leída a la distancia d.
d y d: distancia entre electrodos en cm.

La vasija y los electrodos deben limpiarse cuidadosamente después de cada ensayo, para evitar que los residuos del líquido ensayado puedan perturbar o falsear la medición.



Método para la medición de la resistividad de líquidos aislantes.

Recomendaciones para las mediciones de resistencias de aislamiento

Cuando se efectúan las mediciones de resistencias de aislamiento es necesario tomar algunas precauciones:

1) Es preciso conseguir que la corriente que pase por el aparato indicador sea la que realmente circula por la muestra siguiendo el camino deseado. Para que solamente pase esta corriente las muestras deben proveerse de anillos de guarda o circuitos de guarda. El circuito de guarda debe conectarse a todos los soportes del circuito de medición. El galvanómetro, conductores y caja de resistencias deben estar bien aislados, y los aisladores colocados sobre placas metálicas, las cuales deben conectarse en el mismo polo de la fuente de corriente, que el galvanómetro. Así se consigue que la pérdida se derive, a través del circuito de guarda, al otro polo sin pasar por el galvanometro ni la muestra. La batería debe aislarse de tierra.
2) El galvanómetro debe tener un alcance de varios centenares de megohmios.
3) Si la muestra presenta absorción dieléctica (capacidad) ésta debe neutralizarse interviniendo rápidamente la tensión aplicada, a medida que el valor de la misma se va acercando a cero.
4) Siempre debe indicarse, junto con el valor obtenido, la tension aplicada y la temperatura de la muestra durante el ensayo.

MEDICIONES CON CORRIENTE ALTERNA

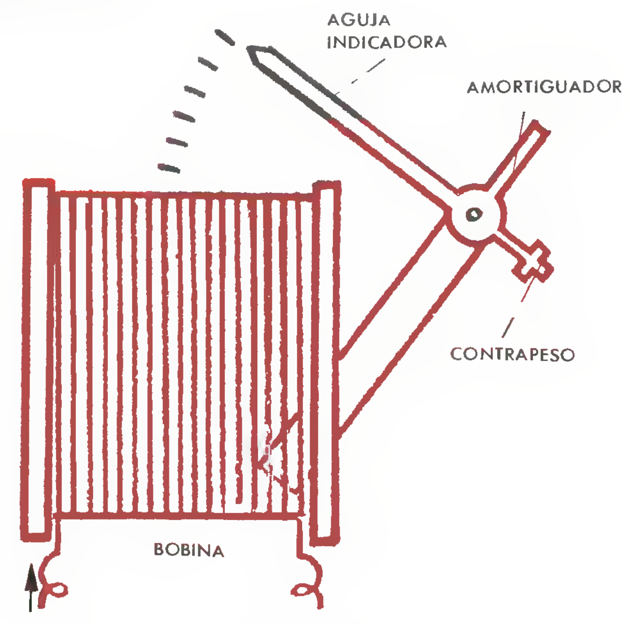
Aparato de medida de lectura directa

Voltímetros y amperímetros de hierro móvil

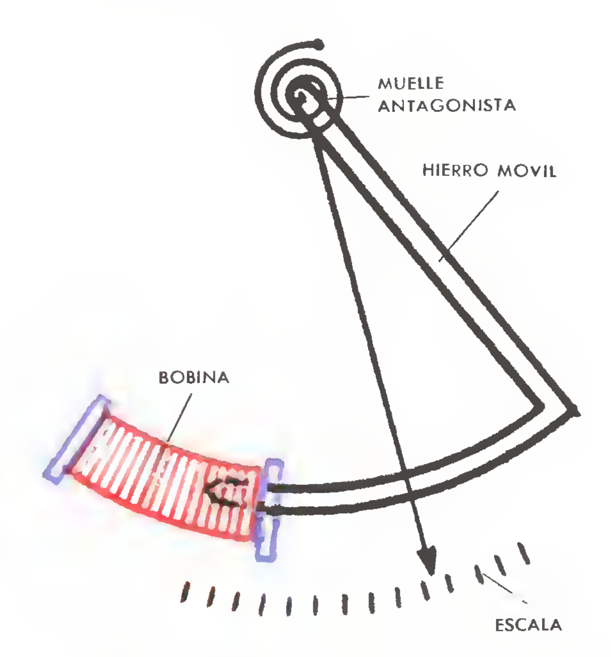
Los aparatos de hierro móvil, también llamados ferromagnéticos y electromagnéticos, están formados por una bobina fija recorrida por la corriente a medir, que actúa sobre una pieza de hierro dulce (aparatos de atracción) móvil, o bien sobre un conjunto de dos piezas de hierro dulce, una fija y la otra móvil; estas piezas, imantadas por el campo magnético de la bobina, se repelen (modelos de repulsión). La rotación útil del equipo es aproximadamente igual a 90°, si bien puede llegar a los 270° en aparatos especiales. En estos aparatos se puede suprimir uno de los muelles espirales antagonistas, pues no se utilizan para conducir la corriente. Si la bobina está bien dimensionada los amperímetros permiten la medición directa de varios centenares de amperios.

Las figuras representan el principio de funcionamiento de los aparatos de hierro móvil.

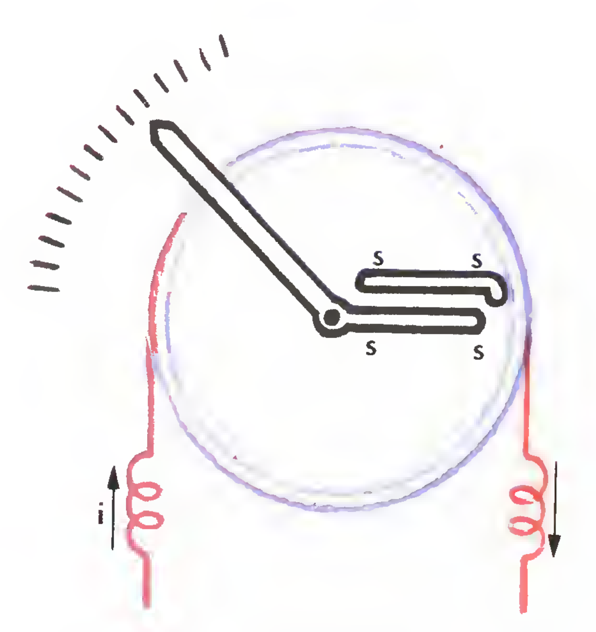
El consumo de los aparatos de hierro móvil es superior al de los aparatos de bobina móvil, ya que la corriente que se mide debe efectuar la imantación de las piezas de hierro.



Aparato de hierro móvil por atracción.



Otra modalidad de aparatos de hierro móvil por atracción.



Aparato de hierro móvil por repulsión.

Fundamentalmente las desviaciones de la aguja indicadora son producidas por la orientación, en el sentido de inducción máximo, de la parte de hierro móvil fija al eje de giro de la aguja y situada en el campo magnético de una bobina recorrida por la corriente a medir.

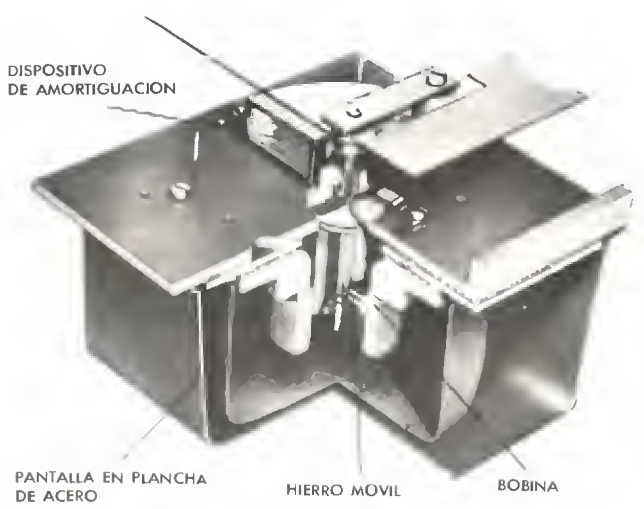
Estos aparatos suelen equiparse con un dispositivo de amortiguación de la aguja.

La caja de los aparatos de hierro móvil debe ser de hierro para evitar perturbaciones.

La figura representa la sección de un voltímetro de hierro móvil para uso industrial, precisión 1,5 % del total de la escala.

Con ejecuciones convenientes y apantallando el aparato se pueden conseguir instrumentos cuya precisión alcance el 0,2 % del total de la escala.

La figura muestra un aparato de hierro móvil para mediciones de laboratorio de un 0,2 % de precisión.



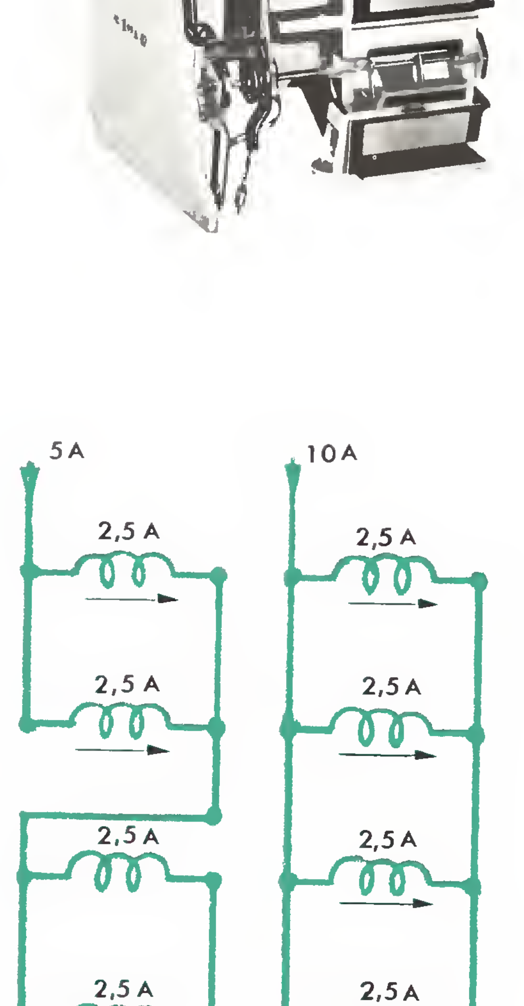


Aparatos para varios alcances

Para conseguir distintos alcances en los aparatos de hierro móvil se utilizan los sistemas siguientes:

1) Amperímetros. — En los amperímetros la bobina magnética está formada por distintos arrollamientos que pueden ser conectados en serie o en paralelo, la cual permite hacer variar, para una corriente a medir dada el número de amperios-vueltas. Normalmente se fabrican aparatos para dos sensibilidades; instrumentos de más de dos alcances son raros.

2) Voltímetros. — En los voltímetros, para aumentar los alcances, se recurre a la inserción de resistencias que se colocan en el interior de la caja del aparato, hasta alcances de 750 V. El consumo de corriente es del orden de los 30 mV; deben proveerse taladros en la plancha de la caja, para facilitar la ventilación. El sistema de variar los amperios-vuelta no es aconsejable, ya que se pierde precisión.



Esquema de conexión de los distintos arrollamientos en un amperímetro de hierro móvil con dos sensibilidades.

Aparatos con rectificador

Estos aparatos aprovechan el efecto de válvula de los rectificadores secos, generalmente de selenio, oximetal, cristales de silicio, germanio, etc., o sea que, en definitiva, aparatos de bobina móvil, conectados a un rectificador. Como hemos visto ya, los aparatos de bobina móvil solamente pueden utilizarse con corriente continua; pues bien, en los aparatos con rectificador, rectificamos la corriente alterna a medir y medimos la corriente rectificada que es prácticamente continua.

Los aparatos con rectificador permiten trabajar con corriente continua, dejando el rectificador fuera de servicio. Normalmente los instrumentos de laboratorio operan en corriente continua y alterna mediante un conmutador. La precisión es mejor en corriente continua.

Características generales de los aparatos con rectificador

La influencia de los campos eléctricos o magnéticos exteriores es la misma que para los aparatos de bobina móvil.

En estos aparatos el envejecimiento se traduce en un aumento de la resistencia, motivado por las sobrecargas y elevaciones de temperatura. Los rectificadores utilizados deben ser envejecidos por el constructor, a fin de garantizar una estabilidad del aparato.

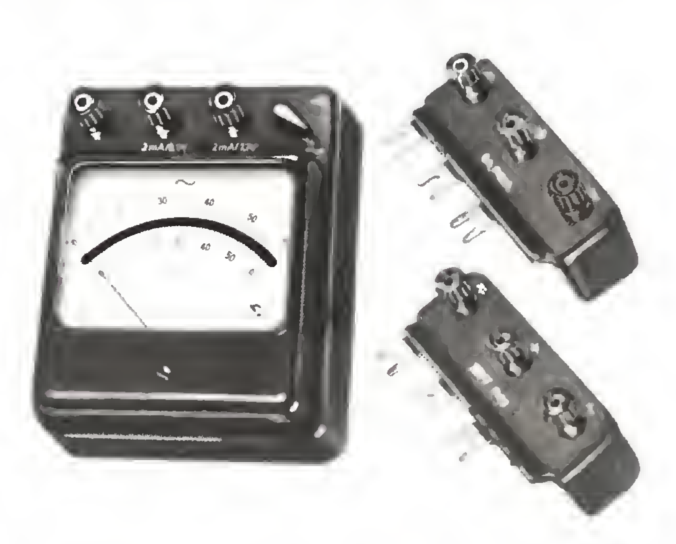
Las sobrecargas, en estos instrumentos, son poco peligrosas, mientras el calentamiento en los rectificadores sea aceptable: 40° C para las células oximetal y 70° para las de selenio. Es necesario evitar sobrecargas superiores al 100 %. Algunos aparatos especiales admiten sobrecargas de hasta un 400 % durante varios minutos.

Cuando la corriente a medir es de frecuencia inferior a los 15 Hz, las oscilaciones de la aguja debidas a las naturaleza pulsatoria de la corriente hacen que la lectura sea muy inexacta.

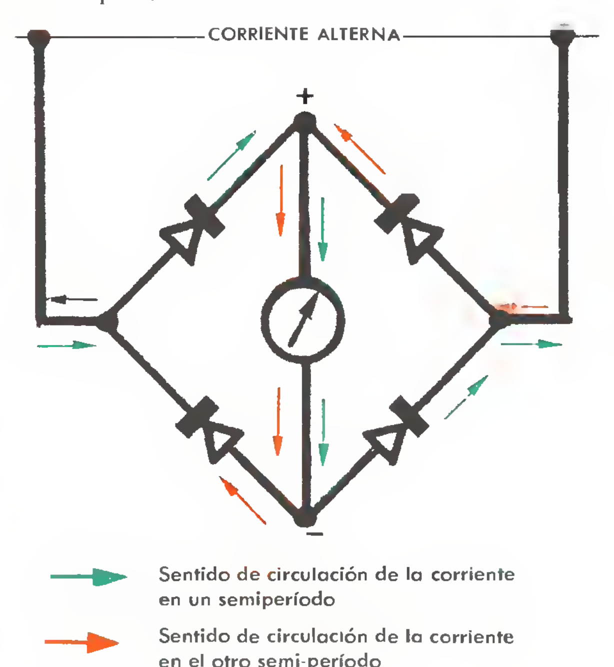
En definitiva, los aparatos con rectificador tienen el objeto de aprovechar en corriente alterna las ventajas del escaso consumo propio de los aparatos de bobina móvil y para poder determinar corrientes alternas inferiores a los 100 mA con instrumentos de indicación directa.

Conexiones de amperímetros con rectificador

Con la desposición de los cuatro rectificadores en conexión Graetz, que se indica en la figura, se consigue que la corriente de medida circule, a través del aparato, en el mismo sentido durante los dos semiperíodos.

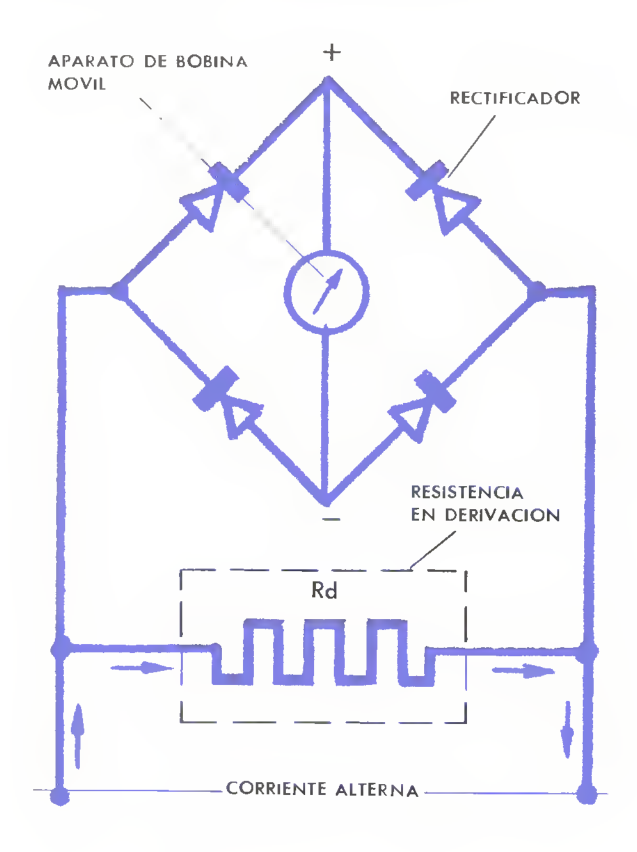


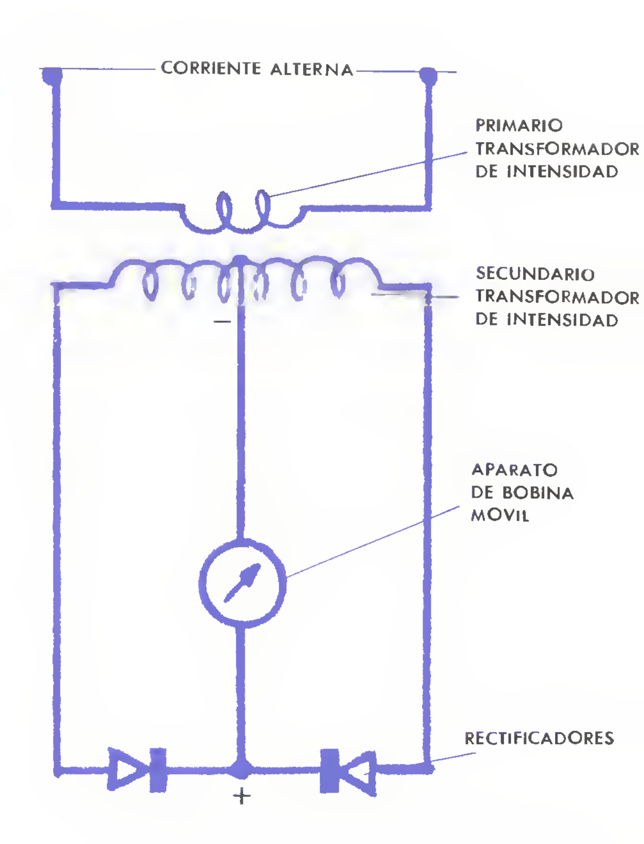
Aparato con rectificador y conmutador para corriente continua y alterna.



Conexión de un amperímetro con rectificador.

Cuando se quiere medir intensidades de corriente mayores, puede lograrse, utilizando la conexión representada en la figura. En esta conexión se han insertado resistencias en derivación. Este sistema aumenta considerablemente el consumo del aparato, por lo cual es poco utilizada.

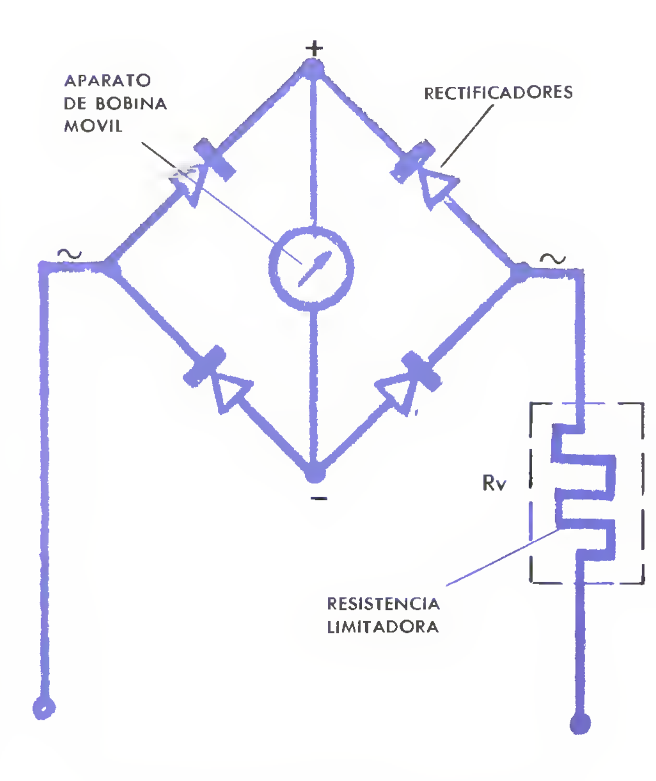




Conexión de un amperímetro con rectificador y transformador de intensidad.

En este sistema solamente pasa por el aparato una parte de la corriente a medir, mientras que la otra parte se deriva a través de la resistencia Rd con el propósito de evitar consumos elevados y mejorar la transformación de intensidad. Utilizando la conexión de punto central representada en la figura, solamente se precisan dos rectificadores para conseguir la rectificación de las dos semiondas. Estos transformadores, a menudo, se colocan en el interior de la caja del instrumento junto con los rectificadores.

Normalmente, para la medición de tensiones en corriente alterna, comprendidas entre 1'5 y 15 voltios, con consumo mínimo del aparato, se utilizan instrumentos de bobina móvil con rectificador. La figura muestra el esquema de conexiones más generalizado. En este esquema se utilizan cuatro rectificadores en conexión Graetz y una resistencia limitadora Rv incorporada. Las características de los aparatos son iguales que las de los amperímetros.



Conexión de un voltímetro con rectificador.

ELECTROMETRIA

Aparatos de medida térmicos
Vatímetros
Fasímetros
Frecuencímetros



LECCION Nº 5

APARATOS DE MEDIDA TERMICOS

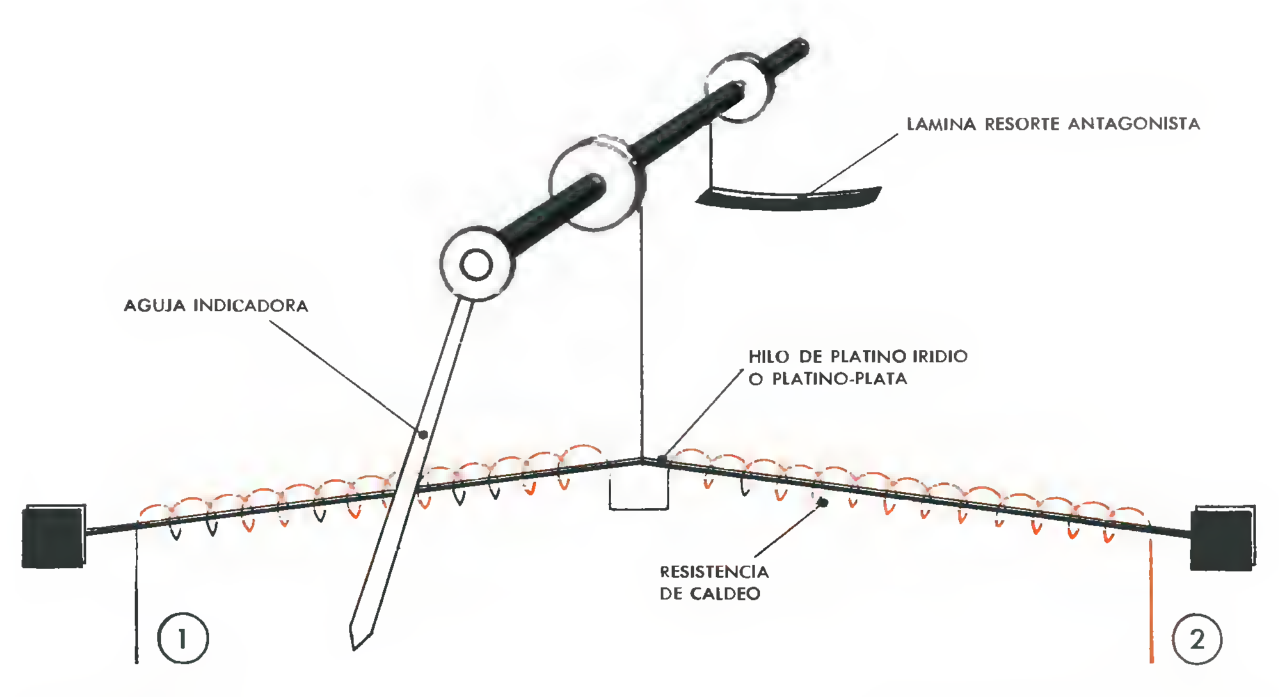
Estos aparatos se fundamentan en la dilatación que experimenta un hilo de platino-iridio o platino-plata calentado por corriente, directamente o mediante una resistencia de caldeo enrrollada sobre ellos. Un dispositivo de amplificación mecánica acciona una aguja y obtiene las desviaciones convenientes. El consumo de estos aparatos es de 1 a 2 W.

Los amperímetros presentan una caída de tensión de 0'3 V, si bien los calibres de más de 25 A tienen una caída de tensión que puede llegar hasta 0'1 V. Los voltímetros absorben una corriente de 10 mA como mínimo, aunque a menudo está comprendida entre 150 y 250 mA. Son límites variables.

Vea la representación esquemática del mecanismo electromecánico de un voltímetro térmico.

Para reducir la inercia térmica y el tiempo de respuesta del aparato se impone utilizar un hilo muy fino. En la práctica, debido a las limitaciones impuestas por la resistencia mecánica, el diámetro del hilo no puede ser inferior a 0'1 mm.

Actualmente los aparatos térmicos están prácticamente desplazados por los aparatos de par termoeléctrico. En el mercado se encuentran aparatos de este tipo a partir de 25 mA.



Voltímetro térmico (de hilo de caldeo).

CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE LOS APARATOS TERMOELECTRICOS DE HILO CALIENTE

1. Corriente continua: funcionamiento normal.
2. Temperatura: actúa sobre la longitud del hilo provocando un desplazamiento del cero.
3. Sobrecargas: no deben sobrepasar un 50 %. El empleo de un fusible de protección es posible, pero puede ocasionar un aumento de la

resistencia del aparato del orden del 100 %.
4. Tiempo de indicación: de 1 a 5 segundos, según los modelos.
5. Escala: prácticamente es cuadrática, por lo cual es inutilizable en la primera 1/10 del cuadrante.
No es aconsejable efectuar lecturas en el primer tercio del cuadrante.

APARATOS DE PAR TERMOELECTRICO O TERMOPAR

El funcionamiento de estos aparatos está basado en el fenómeno siguiente: cuando se aplica en el punto de empalme (soldadura) de dos hilos de distintos metales una temperatura distinta a la de los extremos fríos, se origina una tensión eléctrica. Éste es el *efecto termoeléctrico*.

Esta tensión depende de la diferencia de temperatura entre el punto de soldadura caliente y los extremos fríos o de comparación.

Si se conecta un milivoltímetro entre los extremos fríos tendremos un aparato de medida termoeléctrico. El punto de soldadura se calienta directa o indirectamente por la corriente que se mide.

Generalmente estos aparatos llevan escalas graduadas en grados, o sea que se utilizan como termómetros o pirómetros, proporcionando lecturas de gran precisión.

MEDICION DE POTENCIAS EN CORRIENTE ALTERNA

VATIMETROS ELECTRODINAMICOS

El vatímetro electrodinámico es un aparato cuya construcción mecánica y eléctrica es muy parecida a la del amperímetro. El vatímetro lleva dos juegos de bobinas: una bobina móvil, o bobina de tensión, y una bobina fija, o bobina de intensidad.

Cada par de bobinas (de intensidad y tensión) es útil para una fase, lo cual representa que para una corriente bifásica precisaremos dos pares de bobinas; y para una corriente trifásica, tres pares.

Estos aparatos se fabrican con sistema electrodinámico; con núcleo cerrado en hierro, que proporciona un momento de giro elevado, reduciéndose así el consumo propio del aparato y aumentando su sensibilidad.

Principio de medición

En el interior de una bobina de campo, recorrida por la corriente de línea, se encuentra suspendida la bobina móvil de tensión, cuya intensidad es proporcional a la tensión de la línea.

El momento de giro resultante de la intensidad del campo magnético y de la corriente en la bobina móvil representa la potencia.

Los muelles en espiral empleados para la conducción de la corriente a la bobina móvil sirven a la vez como antagonistas del par de giro.

Normalmente los vatímetros llevan freno magnético o de aire para amortiguar la aguja.

El sistema móvil del instrumento está montado sobre pivotes y contrapivotes de zafiro

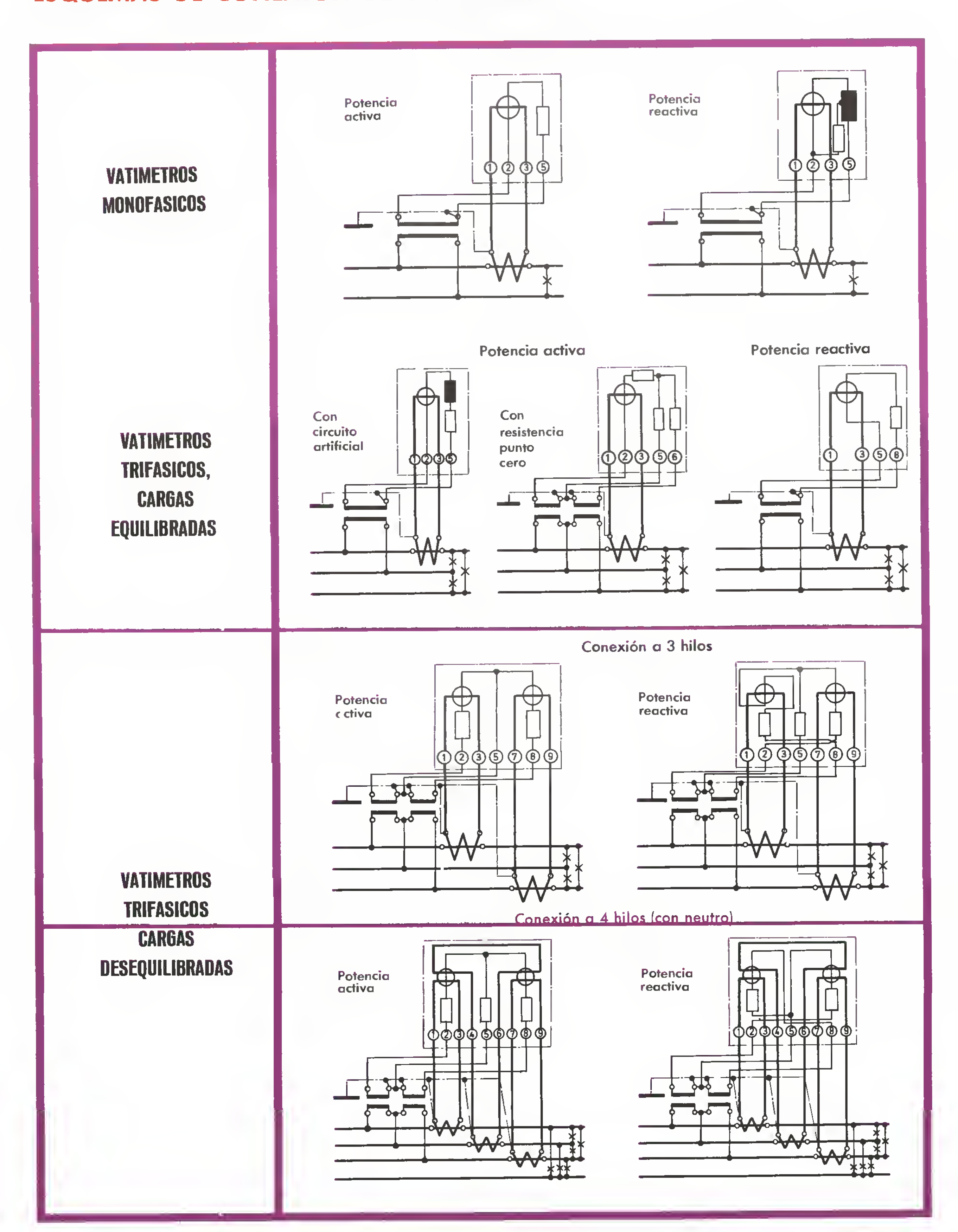
La figura representa la sección de un vatímetro electrodinámico *Siemens* de las siguientes características: consumo propio, con tensión e intensidad nominales y cos φ = 1 a 0'5:

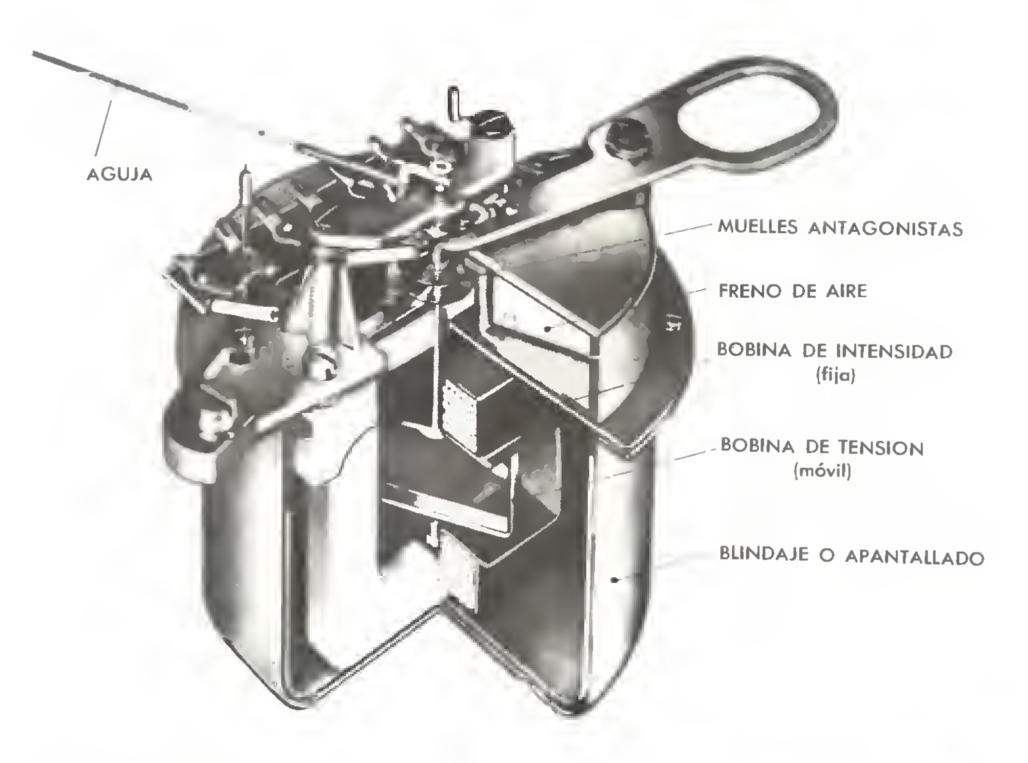
Circuito de intensidad por fase, 1'4 W.
Circuito de tensión por cada 100 V, 0'6 W.
Precisión: de 1'5 a 1 % del total de la escala.
Sobrecargas: resiste sobrecargas permanentes del 20 %.



Sistema del vatímetro electrodinámico bifásico Siemens

ESQUEMAS DE CONEXION DE VATIMETROS





Vatímetro electrodinámico de precisión AEG, precisión 0'2 % del total de la escala.





Vatímetro Gossen.

MEDICION DEL ANGULO DE DEFASE (COS φ)

FASIMETRO ELECTRODINAMICO DE CUADROS CRUZADOS

La figura representa un fasímetro electrodinámico de cuadros cruzados para corriente monofásica.

El conjunto de los cuadros 1 y 2 está situado en el campo de la corriente I sen (cot φ) está equilibrándose para $\alpha = \varphi$, o sea cuando la desviación α corresponde al ángulo de defase φ. Estos aparatos se gradúan en valores del cos φ. En el

1 0,9 0,9 0,8 0,8

Cos. α en retraso

Cos. en adelanto α

α

I sen. (cot - α)

2 90° 1

~V sen. cot.

B_1 B_2

ρ λ

Z CARGA INDUCTIVA

Esquema de un fasímetro electrodinámico monofásico.

centro de la escala se encuentra el valor cos φ = = 1, con lo cual podemos saber por lectura directa cuándo se trata de un defase por adelanto y por retraso.

El principio de medida es el siguiente:

En un campo magnético, formado por una bobina recorrida por la intensidad de la línea, se encuentran, fijadas en un mismo eje, dos bobinas o cuadros móviles conectados a la tensión de la línea de forma que sus respectivos momentos de giro estén en oposición. Las intensidades en las dos bobinas móviles están defasadas con relación a la tensión que proporciona circuitos apropiados con resistencia (ρ) y con autoinducción (λ). Las bobinas cruzadas ocupan en el campo no homogéneo una posición de equilibrio cuando sus momentos de giro (opuestos entre sí) son iguales.

Al variar el ángulo de fase entre la intensidad y la tensión se alteran los momentos de giro de cada bobina. El sistema móvil se desplaza hasta ocupar una nueva posición de equilibrio.



Fasímetro Siemens.

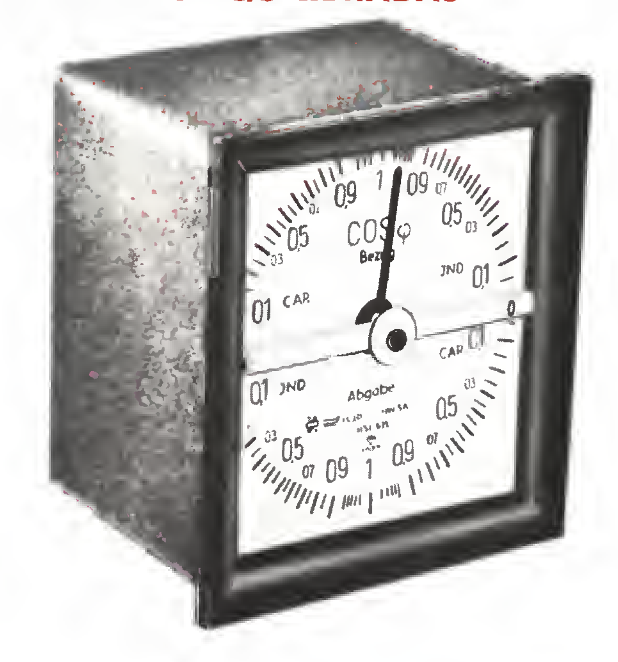
ESQUEMAS DE CONEXION DE FASIMETROS

CORRIENTE MONOFASICA	cos φ 0'5	cos φ 0'8
CORRIENTE TRIFASICA CARGAS EQUILIBRADAS	cos φ 0'8	cos φ 0'5

FASIMETRO ELECTRODINAMICO PARA CORRIENTES EQUILIBRADAS

Este aparato es análogo al de tipo monofásico, pero el ángulo formado por los cuadros móviles es de 120°. Los cuadros alimentados por las tensiones compuestas V_{1-2} y V_{1-3}, a través de resistencias ρ del orden de 20 a 50 Ω/V, están sometidos a la acción del campo de las bobinas B_1 y B_2, alimentadas por una de las corrientes (i_1 por ejemplo). Se demuestra que la aguja, solidaria de los cuadros, gira un ángulo α, igual al defase a medir.

Al efectuar las conexiones debe prestarse especial atención a que la dirección de la corriente y el orden de sucesión de las tres fases sean los correctos; en caso contrario, la indicación del aparato es errónea.



Fasimetro electrodinámico Gossen.

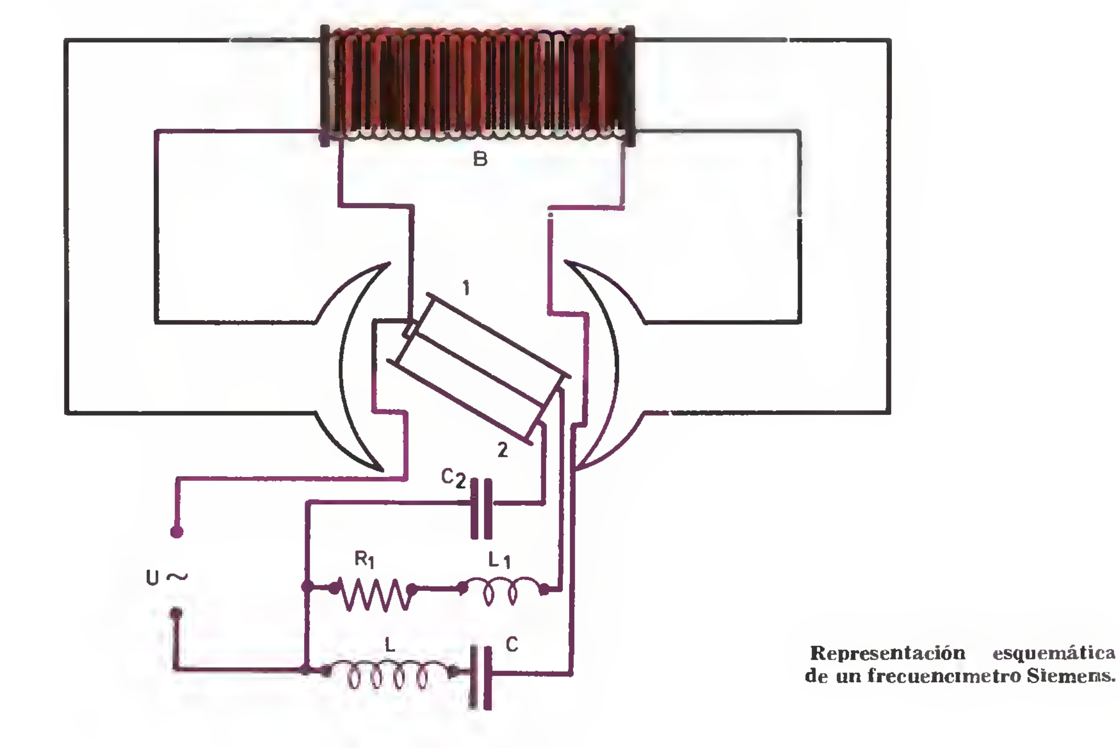
Fasímetro electrodinámico trifásico.

MEDICION DE FRECUENCIAS

APARATOS DE LECTURA DIRECTA

La mayor parte de estos aparatos son fasímetros en los cuales el ángulo de fase es impuesto por una impedancia convenientemente escogida para cubrir la gama de frecuencias deseada. La escala es prácticamente simétrica alrededor de la frecuencia media.

Su precisión es elevada y del orden de 0'5 a 0'1 % del total de la escala.



Representación esquemática de un frecuencímetro Siemens.

Las corrientes de las bobinas 1 y 2 están defasadas alrededor de 90º sobre la tensión. En el momento en que el circuito de la bobina B está en resonancia, los pares que actúan sobre 1 y 2 se equilibran. Si la frecuencia varía a partir de este valor escogido como valor medio, el equilibrio se rompe y el equipo móvil se desplaza, marcando la nueva frecuencia.


Frecuencímetro Gossen.



FRECUENCIMETROS DE LENGÜETAS CON SISTEMA DE RESONANCIA

El principio de funcionamiento de estos frecuencímetros es sencillo: en el campo magnético de un electroimán vibra una serie de lengüetas, fijas por un extremo, que entran en resonancia con la frecuencia de la corriente alterna que excita el electroimán. La frecuencia de esta corriente coincide en cada caso con la propia de la lengüeta en cuestión.

En caso de vibrar dos lengüetas con la misma amplitud, la frecuencia medida es el valor medio de las frecuencias de vibración de ambas lengüetas.

PESO DE ESTAÑO SOLDADO

LENGÜETA

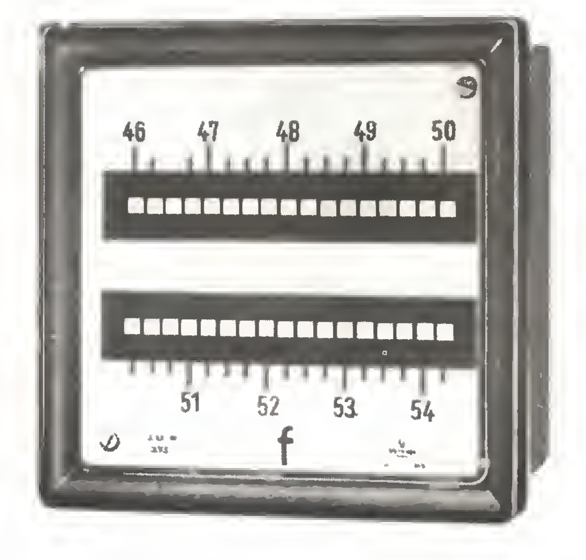
CORRIENTE ALTERNA

SOPORTE LENGÜETA

Frecuencímetro de lengüetas.

Las fotografías reproducen frecuencímetros de este tipo.





Frecuencímetros Siemens de lengüeta.

* * * *

Este libro
se terminó de imprimir
el día 23 de Julio de 1970

cupación de los técnicos ha sido la automatización de la conmutación, o sea suprimir las operadoras en las centrales de gran tráfico.

La primera instalación automática construida en Europa entró en servicio el año 1908 en Heldesheim (Alemania).

Para el establecimiento de la comunicación por el propio abonado los aparatos telefónicos están equipados con un cuadrante de llamada, que envía las señanes correspondientes al número del abonado con el que se desea establecer la comunicación. La figura muestra un disco de llamada.



Disco de llamada.

DISCO O CUADRANTE DE LLAMADA

Los circuitos automáticos son siempre de batería central; la línea del abonado está alimentada por corriente continua desde el momento en que se descuelga el aparato, Las señales que se envían a la línea al marcar un número consisten en interrupciones, de corta duración, de esta corriente continua de alimentación, que reciben el nombre de *impulsos de ruptura*. Estos impulsos, de igual duración (66 milésimas de segundo), van seguidos por un restablecimiento de la corriente llamado *impulso de cierre* (duración, 33 milésimas de segundo). El conjunto del impulso de ruptura y el impulso de cierre constituye el impulso completo, o simplemente impulso, que dura una décima de segundo.

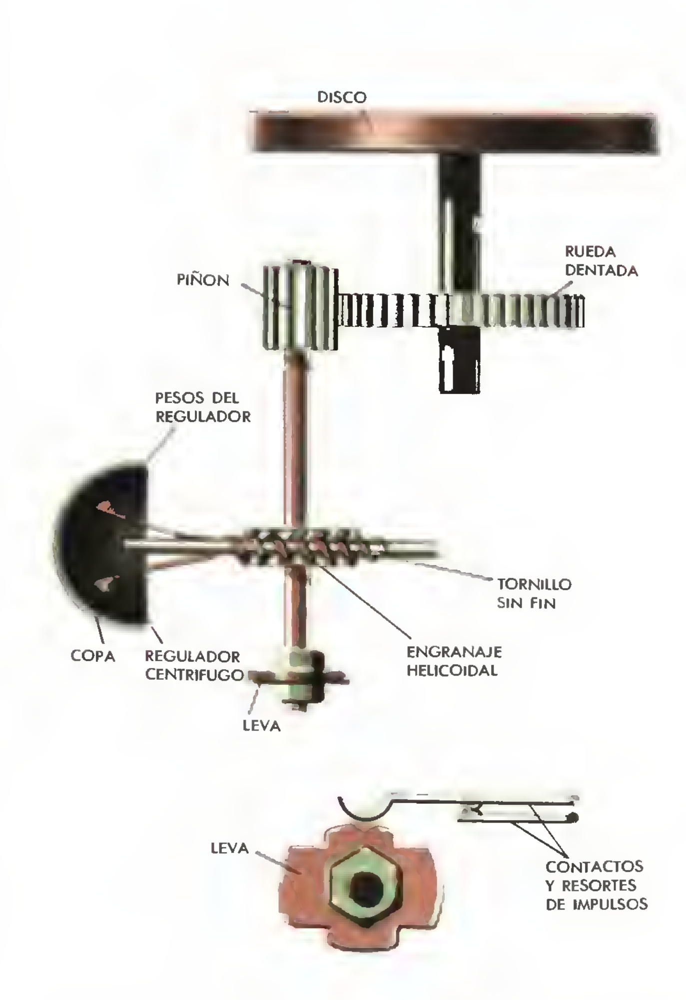
La serie de impulsos que constituye una cifra recibe el nombre de *tren de impulsos*. Cuando marcamos la cifra 7, enviamos un tren de siete impulsos.

Cuando el dedo deja libre el disco, éste retorna a la posición de reposo, a velocidad constante, por la acción de un regulador. Durante este retorno una leva abre periódicamente un contacto conectado en serie con la línea.

Para lograr que los órganos instalados en la central tengan tiempo de actuar realizando las operaciones necesarias, se prevé en la construcción del disco un *tiempo perdido* de dos o tres décimas de segundo entre cada *tren de impulsos*.

El disco de llamada está provisto, además, de un contacto llamado de *shunt* que cortocircuita el micrófono y el receptor del aparato del abonado durante el envío de un tren de impulsos.

La figura repreenta esquemáticamente el mecanismo del disco de llamada.



Los impulsos emitidos por el disco de llamada llegan a la central, donde colocan en posición los órganos de conexión. Esta operación recibe el nombre de *selección*. Para conseguir que la explotación económica sea posible es preciso que un mismo aparato de selección sirva para varios abonados.

PRESELECCION

La preselección es el medio que conecta varias líneas de abonado a un órgano único, que recibe el nombre de selector.

Si las líneas de abonado pueden conectarse al selector con un solo órgano intermedio, la preselección es simple. En el caso de dos órganos intermedios es doble.

PRESELECCIÓN SIMPLE:

1. Preselector. La línea de abonado se conecta a un juego de escobillas móviles de un conmutador que busca un selector disponible.
2. Buscador de líneas. Las escobillas se conectan a un selector y a la llamada de un abonado. El conmutador busca la línea del abonado que ha efectuado la llamada.

La figura representa en forma esquemática el conjunto de un preselector.

PRESELECCIÓN DOBLE. En la preselección doble se combinan los dos sistemas dos a dos, obteniéndose entonces:

1. Los preselectores secundarios. Estos son dos pisos de preselectores en cascada.
2. Los buscadores secundarios de llamada. Son dos pisos de buscadores de llamada en cascada.
3. Los buscadores dobles. Esta es una disposición muy utilizada. El buscador de llamada primario está conectado a las escobillas de un preselector.

Hemos hablado de selectores suponiendo que un solo órgano podía comunicar con todas las líneas de abonado. Es evidente que esta selección debe hacerse en varios eslabones (o pasos intermedios). Supongamos que disponemos de selectores que permiten conectar con cien abonados. Los abonados reciben los números del 001 al 100. Un abonado en esta centena está caracterizado por las dos últimas cifras de su número. Esto significa que este aparato selector realiza dos movimientos diferentes: el primero bajo el control de la penúltima señal mandada por el disco de llamada, cifra de decenas; el segundo bajo el control de la última señal, cifra de unidades.

200 PRESELECTORES
ESCOBILLAS MOVILES
ARCO DE CONTACTOS
25 SELECTORES
200 ABONADOS
1
2
3
200

Conjunto de preselectores.

Este último movimiento consiste en pararse sobre una de las diez líneas de la decena designada anteriormente. Decimos que el aparato tiene acceso a diez *niveles* de diez líneas. Como este aparato es el último eslabón de la cadena que conecta al abonado que llama con el abonado llamado, decimos que es un selector final o conectador.

Para tener acceso a un selector final se emplea un aparato análogo, que recibe el nombre de selector de grupo. Este aparato solamente escogerá el nivel, que depende de la cifra de las centenas, y busca en este nivel una línea que dé acceso a un selector final libre. Decimos que el aparato ha efectuado una selección mandada seguida de una busca libre.

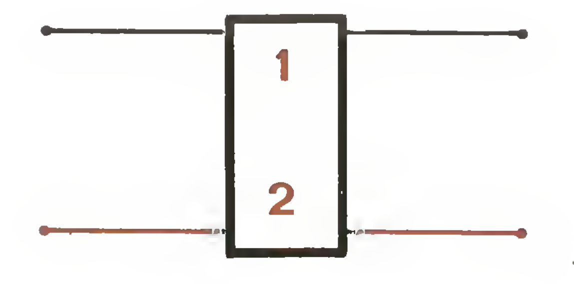
Utilizando dos, tres o cuatro eslabones de selección sucesivos se pueden servir mil, diez mil, cien mil o más aparatos de abonado.

Hay distintos sistemas de selectores, pero todos están formados por elementos comunes: relés, conmutadores y circuitos eléctricos.

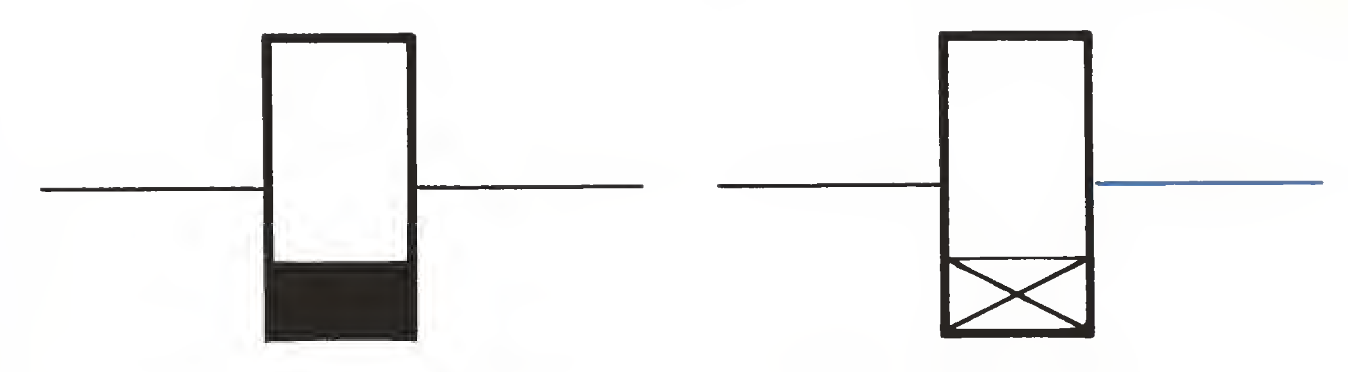
RELES

Los relés son órganos cuyo principio ya ha sido descrito en el estudio de las centrales manuales. En la conmutación automática es frecuente el uso de relés diferenciales y retardados.

Los relés diferenciales son relés de dos arrollamientos, 1 y 2 (Véase figura.) Cuando el circuito del arrollamiento 1 se encuentra cerrado, el relé trabaja como si fuera un relé ordinario Si en este momento se cierra el circuito del arrolla-



Representación del relé diferencial.



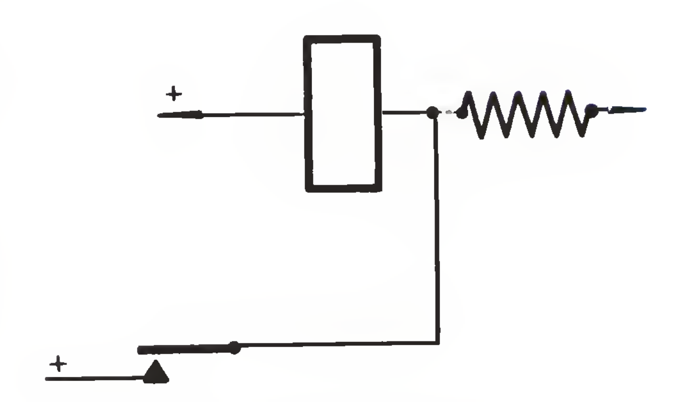
Retardo a la caída o apertura. **Retardo a la atracción o cierre.**

Símbolos de los relés retardados.

miento 2, el relé pasa a su posición de reposo por la existencia de un flujo antagonista creado por el arrollamiento 2.

El relé retardado puede ser retardado a la atracción o a la caída. La figura representa el símbolo de este relé.

El retardo se consigue con escobillas de cobre. Además puede retardarse un relé cortocircuitando, mediante un contacto, una parte del arrollamiento.



Relé retardado por cortocircuito.

CIRCUITOS ELECTRICOS

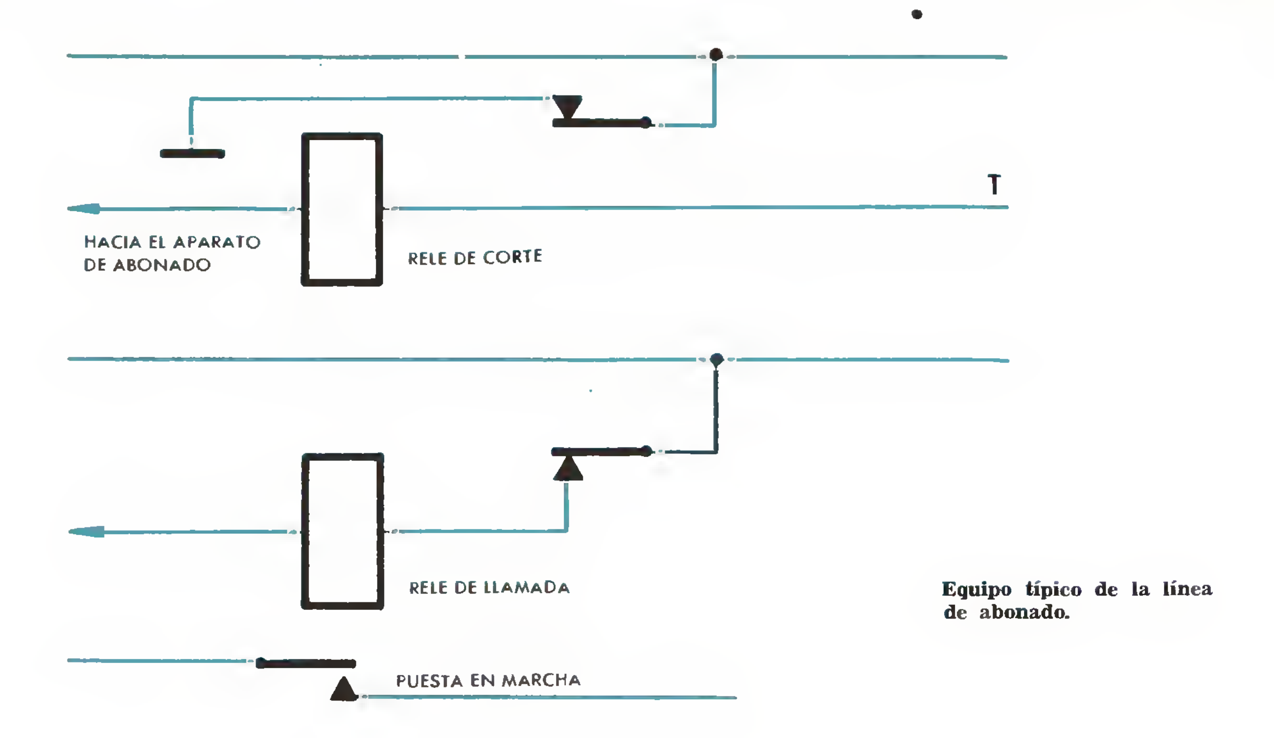
Pueden proyectarse de modo que utilicen más o menos relés. Se disminuye el número de relés en un circuito multiplicado las funciones que desempeña cada uno de los relés que lo integran, y también aumentando el número de contactos que establecen.

CONMUTADORES

Los órganos más importantes de todo el sistema automático son los conmutadores que, en varios puntos de la cadena a establecer, efectúan la unión o conmutación deseada entre los dos abonados que desean comunicarse. Esta unión exige de tres a cinco hilos, según el sistema utilizado. Dos hilos de conversación en conmutación urbana, cuatro hilos de conversación en conmutación interurbana, hilos de señalización, control, conteo, etc.

EQUIPO DE LA LINEA DE ABONADO

Por lo general, para los equipos de abonado en el sistema de conmutación automática se utiliza el esquema representado a continuación. Cuando el abonado descuelga su aparato, el circuito formado por la línea y el aparato de abonado se cierra, de forma que el relé de llamada actúa cerrando un contacto de puesta en marcha de la preselección. Una vez terminada la preselección, una corriente en el hilo T atrae la armadura del relé de corte, que aísla el relé de llamada, permitiendo la recepción de los impulsos. El relé de corte, mediante un sistema de contactos, indica si el aparato receptor del abonado está en situación de libre o ocupado.

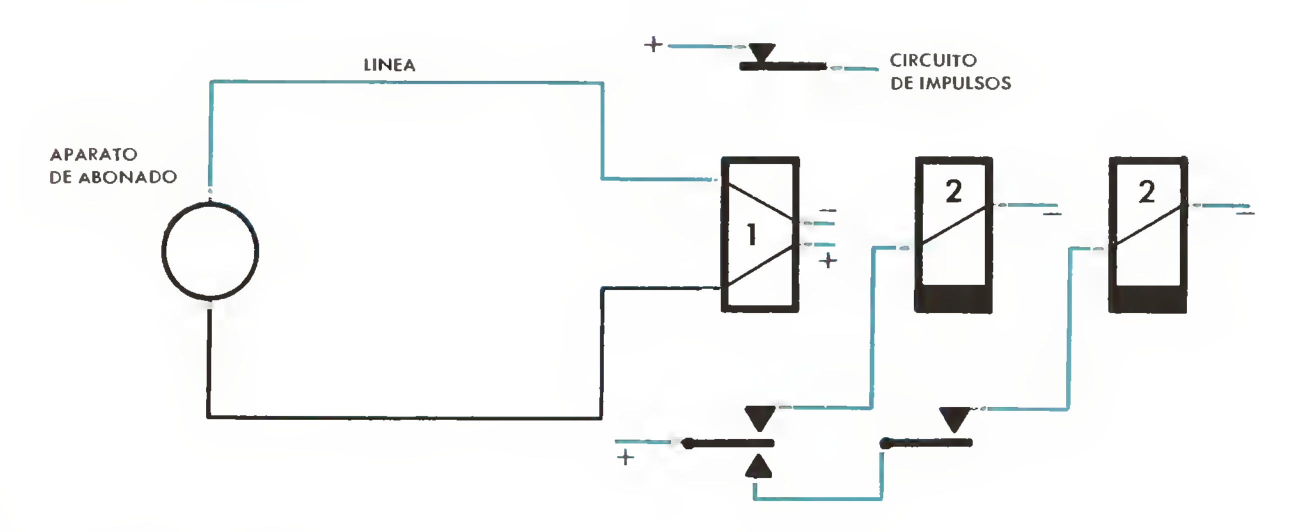


Equipo típico de la línea de abonado.

RECEPCION DE LOS IMPULSOS

Para la recepción de los impulsos son indispensables, como mínimo, tres relés. Estos relés se encuentran en todos los sistemas de recepción utilizados. La figura representa el esquema de la recepción de impulsos.

El relé 1 está conectado en el bucle de la línea de abonado, actuando con la cadencia de los impulsos, y cierra el circuito de impulsos destinado a marcar la cifra recibida. El relé 2 es el de ccupación y actúa al actuar el relé 1, pero su retraso a la apertura permite que no abra a cada impulso. El relé 3 es el de conmutación. Actúa al primer impulso de apertura; su retardo es suficiente para que se mantenga cerrado durante los impulsos de cierre, pero insuficiente para mantenerlo atraído durante el tiempo que separa los trenes de impulsos. Su trabajo se utiliza para preparar la recepción de la cifra siguiente; su reposo permite la conmutación definitiva al órgano encargado de esta recepción.



Recepción de impulsos.

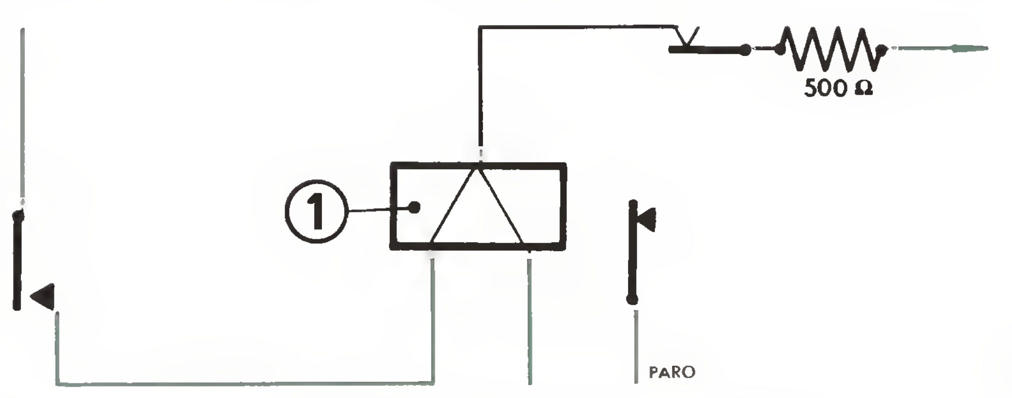
TEST

En cada eslabón de selección el selector, si está formado por un conmutador móvil, explora las distintas líneas de un mismo nivel y se detiene sobre la primera línea que encuentra libre. Para saber dónde ha de pararse debe, pues, probar (realizando el *test*) las líneas de salida, de igual forma que como lo hace una operadora con los *jacks* que están ante ella. El principio del *test* automático es exactamente igual que en telefonía manual: una modificación del potencial del hilo del punto examinado. Aquí nos limitaremos a describir los principios del *test* que se utilizan actualmente:

Una línea libre se caracteriza por una polaridad de la batería a través de una resistencia de 500 Ω situada en el circuito del contacto de *test*. La escobilla que explora este contacto se conecta a tierra por un arrollamiento muy resistente de un relé 1. Este relé está proyectado de forma que dos relés parecidos no pueden conectarse si están alimentados en paralelo.

Cuando un selector pasa sobre una línea libre, el relé 1 actúa y corta el circuito de rotación del selector. A la vez, mediante un contacto de trabajo, conecta en paralelo con su arrollamiento resistente un arrollamiento de poca resistencia, quedando el potencial del contacto a un potencial cercano al de tierra; de esta forma señala la ocupación de la línea que ha sido tomada. La figura reproduce esquemáticamente el principio del *test* automático en los sistemas modernos.

Si dos selectores pasan simultáneamente sobre la misma línea libre, la característica del relé 1 impide el paso simultáneo de los dos selectores. Los dos pasan sin pararse sobre el contacto de la línea.



Principio del test, en los sistemas modernos de telefonía automática.

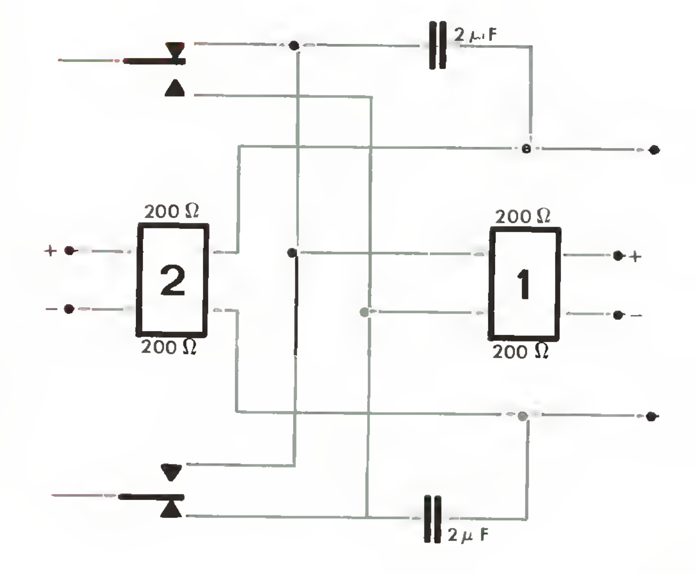
ALIMENTACION DE LAS LINEAS DE ABONADO

En telefonía automática la alimentación de las líneas de abonado se hace siempre empleando inductancias y capacidades. Las inductancias generalmente están formadas por bobinas de relés. La particularidad de la alimentación radica en que la corriente que alimenta la línea del solicitante es inversa a la respuesta del solicitado, lo cual permite la inserción de monedas o fichas en los aparatos de teléfono público de pago adelantado.

La figura muestra el esquema más empleado de alimentación de los abonados.

El relé 1 se utiliza para la recepción de las cifras. El relé 2 es el de alimentación y de supervisión del abonado solicitado. Este relé provoca, además, la inversión de la alimentación del abonado solicitante

Alimentación de los abonados. ⇨



COMBINADORES

Los combinadores son órganos giratorios que pueden ocupar sucesivamente cierto número de posiciones, en las cuales establecen entre los diversos elementos del circuito las uniones eléctricas necesarias en el momento considerado. O sea, que a cada posición del combinador corresponde el cierre de cierto número de circuitos eléctricos.

Los combinadores, por tanto, reducen de modo considerable el número de órganos que intervienen en la conmutación telefónica.

TONOS

Una vez terminada la preselección el abonado solicitante recibe una tonalidad, llamada *tono de maniobra* o *tono de disco de llamada*, indicadora de que ya puede componer el número del abonado deseado. Cuando han finalizado las operaciones de selección el abonado solicitado recibe la llamada (timbre) si su línea está en situación de libre. El solicitante percibe lo que se llama *retorno de llamada*.

Si el abonado solicitado está en situación de ocupado, el solicitante percibe el *tono* o *tonalidad de ocupado*.

SISTEMAS DE CONMUTACION AUTOMATICA

En la conmutación automática se utilizan diversos sistemas, los más generalizados de los cuales son los que vamos a describir y representar en forma gráfica.

SISTEMAS PASO A PASO

De este tipo estudiaremos el sistema Strowger, de mando directo, en el que los selectores se desplazan siguiendo un movimiento vertical y otro horizontal.

PRESELECTOR

El preselector Strowger es un aparato de un solo movimiento sin posición de reposo. Un juego de escobillas móviles, cuyo movimiento está producido por un electroimán, explora un conjunto de contactos semicirculares. La figura representa un aparato de este tipo.

El electroimán funciona atrayendo y soltando alternativamente la armadura. Este movimiento alternado se transmite por medio de un trinquete y se transforma en rotativo cuando éste engatilla en una rueda con dientes de sierra. La rueda avanza un paso o diente cada vez que la armadura del electroimán cae o pasa a la posición de reposo.

Esta rueda mueve las escobillas que exploran los contactos. La velocidad de rotación del preselector es de unos 50 pasos por segundo.



Preselector tipo paso a paso.

SELECTOR

El selector paso a paso está formado por dos bloques de contactos superpuestos.

Los hilos de conversación se conectan al bloque inferior y los hilos de *test* al superior.

El selector está animado de dos movimientos, uno de rotación u horizontal y otro de elevación o vertical. Los movimientos del selector se efectúan por medio de tres electroimanes. El electroimán 1 proporciona el movimiento de elevación, el 2 el de rotación y el 3 es el electroimán de liberación.

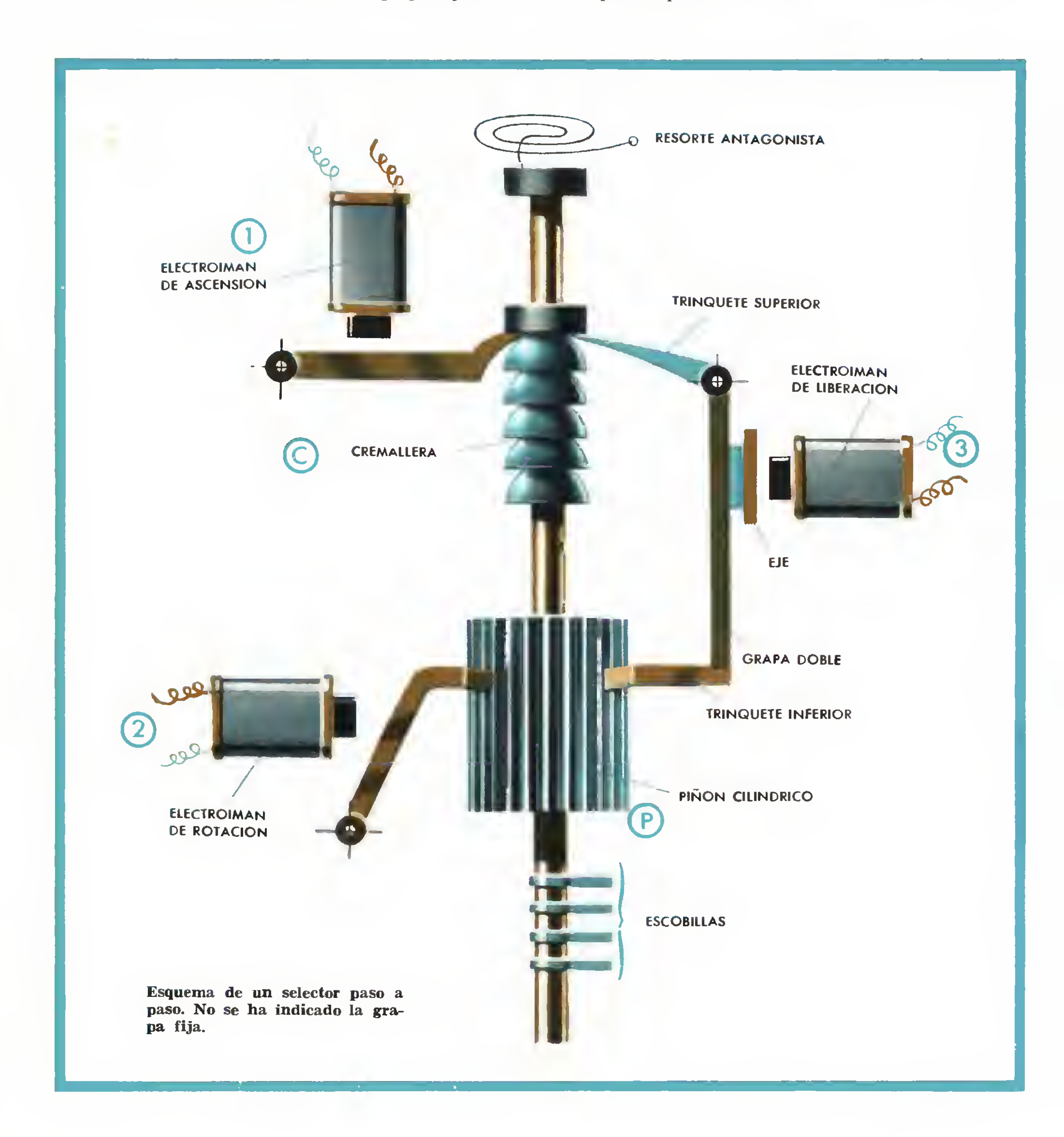
El árbol portaescobillas tiene una cremallera

de dientes cónicos C y un piñón de dientes cilíndricos P. Dos grapas trinquetes intervienen en el funcionamiento. La grapa fija guía el árbol porteaescobillas en su movimiento vertical mediante un canal efectuado en los dientes de ascensión. La segunda grapa, que es doble, sostiene entonces el árbol por medio de su trinquete superior.

Cuando empieza la rotación la grapa fija sostiene el árbol. El trinquete inferior de la doble grapa retiene el movimiento de rotación.

El electroimán de liberación atrae la grapa doble; entonces un resorte espiral antagonista obliga al árbol a girar en sentido inverso, hasta que la grapa fija se aloje en el canal vertical.

La figura muestra esquemáticamente un selector paso a paso.



Esquema de un selector paso a paso. No se ha indicado la grapa fija.

CARACTERISTICAS ELECTRICAS DE LOS SELECTORES PASO A PASO

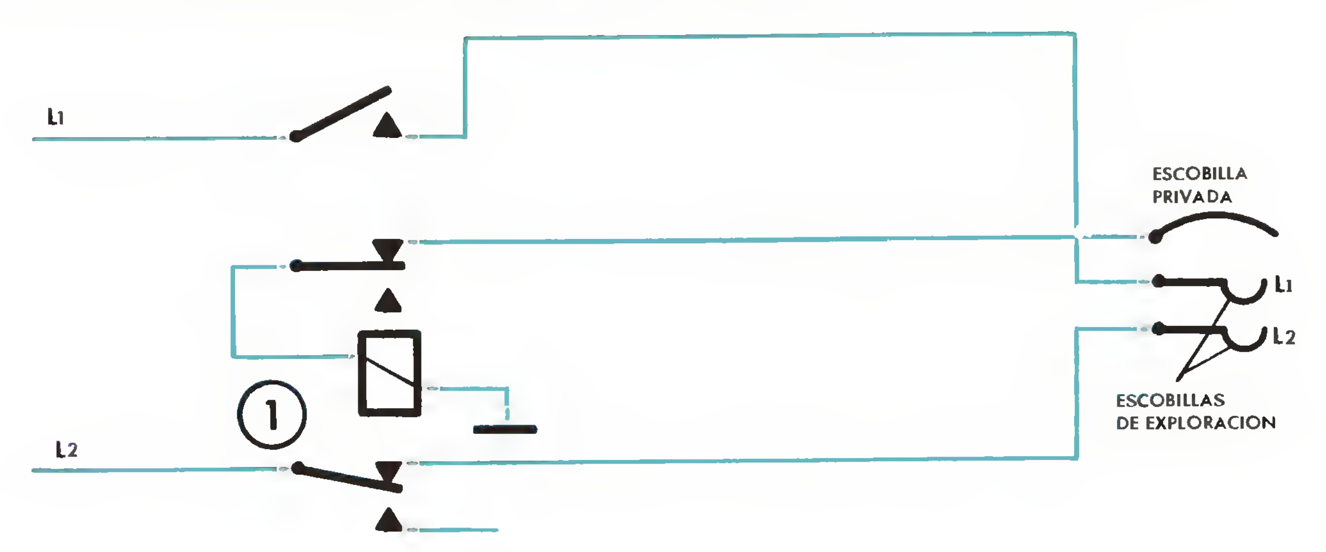
Selección numérica. En la selección numérica se trata de escoger un nivel, operación que realizan todos los selectores de la misma cadena. Esta operación está mandada directamente por los impulsos emitidos por el disco de llamada del abonado. Estos impulsos se reciben en el selector por tres relés, tal como se ha indicado anteriormente. En el circuito de recepción se encuentra el electroimán de ascensión, en el cual cada atracción de la armadura provoca la subida de un paso del árbol portaescobillas. Al final del tren de impulsos, la vuelta a la posición de reposo del relé cierra el circuito del electroimán de rotación y las escobillas buscan en el bloque de contactos. La selección automática o búsqueda ha comenzado.

La selección automática consiste en pasar el selector sobre una línea libre del nivel explorado por la operación del *test*, según el principio explicado en anteriores páginas.

En el sistema *Strowger*, si la línea está libre el hilo *privado* queda aislado. Los relés 1 y 2 están alimentados en serie. Solamente el relé 1 atrae su armadura, y la rotación no tiene lugar.

Si la línea está ocupada, el hilo *privado* queda conectado a tierra. El relé 2 atrae su armadura y cierra el circuito de rotación; el árbol portaescobillas gira un paso y el relé vuelve a su posición de reposo; el selector prueba entonces la línea siguiente. Si todas las líneas de un mismo nivel están ocupadas, las escobillas pasan a la posición 11 y mandan la señal de ocupado. La llamada, por tanto, se ha perdido, y el abonado debe marcar de nuevo.

La figura representa el esquema de la selección automática.



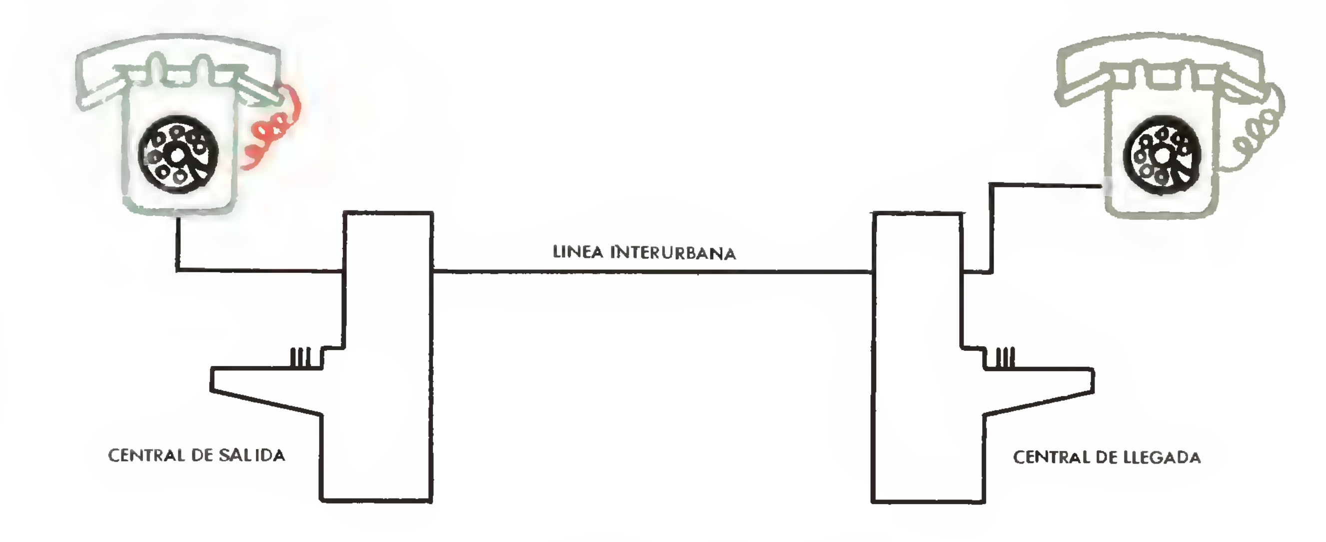
DESARROLLO DE LA CONMUTACION AUTOMATICA

Durante largo tiempo la conmutación automática solamente se aplicaba en el establecimiento de comunicaciones urbanas, o sea entre dos abonados de una misma ciudad. Actualmente estos procedimientos se han extendido a los circuitos rurales y a las comunicaciones a gran distancia.

COMUNICACIONES A GRAN DISTANCIA

Hasta hace poco tiempo todas las comunicaciones interurbanas exigían la presencia de por lo menos dos operadoras, una en la central de salida y otra en la de llegada; o sea que la conmutación era completamente manual. La figura representa esquemáticamente un circuito de este tipo.

A pesar de la atención y diligencia de las telefonistas, siempre resultan falsas maniobras y pérdidas de tiempo que perjudican a la calidad del servicio y al rendimiento de las líneas de gran distancia, cuyo establecimiento es muy costoso. Una línea explotada manualmente no puede establecer más de nueve unidades de conversación de tres minutos de duración, o sea veintisiete minutos de facturación efectiva.



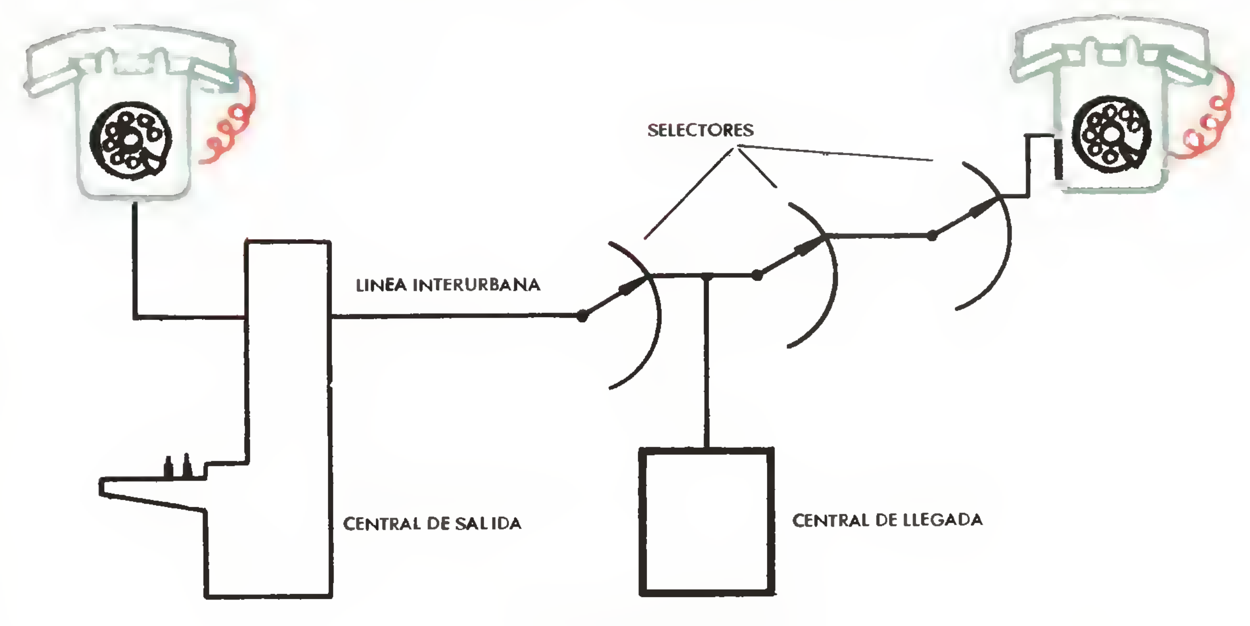
Explotación completamente manual.

EXPLOTACION INTERURBANA SEMIAUTOMATICA

De los primeros estudios realizados por los técnicos, surgió la creación de instalaciones que establecen la comunicación con la intervención de solamente la operadora de salida, mediante los procedimientos de selección automática. Esta explotación recibe el nombre de semiautomática y se representa esquemáticamente en la figura siguiente.

En este sistema el establecimiento de una comunicación sólo requiere cuarenta segundos, mientras que con la explotación manual se precisan ciento cuarenta segundos, o sea que se ahorran cien segundos. Por tanto no solamente se economizan todas las operadoras de llegada, sino que además se puede ahorrar el 60 % de las operadoras de salida.

Esta economía de personal no es el principal motivo de utilizar el sistema semiautomático. En efecto, este sistema, para una misma línea interurbana, permite treinta y seis minutos (doce comunicaciones) de facturación en vez de los veintisiete (nueve comunicaciones) minutos del sistema manual, o sea que el rendimiento de la línea aumenta en un 33 %.



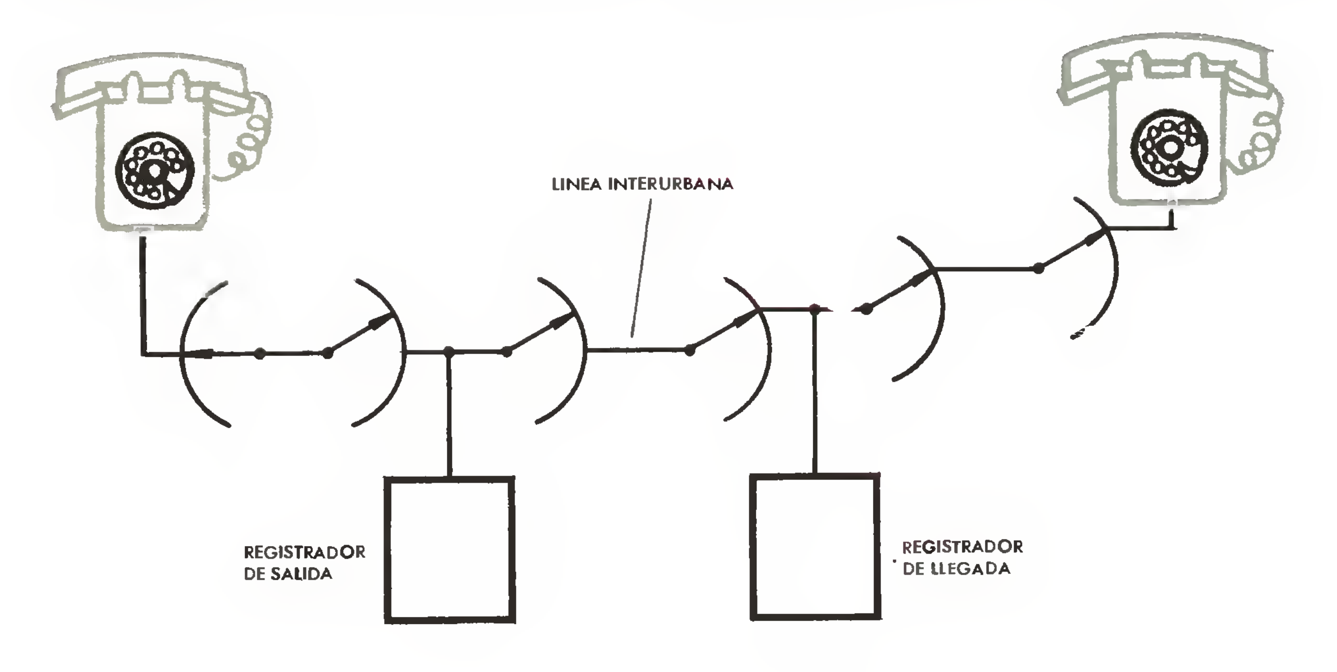
Explotación semiautomatica.

EXPLOTACION INTERURBANA AUTOMATICA

Es posible ir aun más lejos en la extensión de los sistemas automáticos y conseguir establecer directamente una comunicación de gran distancia sin la intervención de ninguna operadora. Actualmente vemos este sistema de explotación aplicado a las comunicaciones entre Madrid y Barcelona y entre otras muchas ciudades españolas. Con las nuevas técnicas aplicadas a la conmutación automática los abonados de Barcelona establecen una conexión con otro abonado de Madrid en treinta segundos a partir de la finalización de la maniobra del disco.

La figura representa esquemáticamente la explotación automática de una línea de gran distancia.

Para el conteo y tarificación de las llamadas se dispone de un registrador de salida y un registrador de llegada.



Esquema de explotación interurbana aotomática.

INSTALACIONES TELEFONICAS PRIVADAS

El teléfono, multiplicando la presencia humana, ha tomado una posición preponderante en la vida de los países, de forma tal que el Estado controla los servicios telefónicos y en algunos países los explota él mismo. Este monopolio tiene sus limitaciones; se permiten las instalaciones privadas, en el interior de una misma propiedad, con la condición de que el sistema de comunicación empleado no franquee la vía pública o la propiedad de un tercero.

Los sistemas de telefonía privados pueden ser de los tipos siguientes:

1. Sin enlace con las líneas telefónicas públicas; o sea que desde el sistema no puede establecerse ninguna conversacion con aparatos ajenos al mismo.
2. Con enlace con las líneas telefónicas públicas; o sea que desde el sistema privado puede establecerse comunicación con cualquier abonado de la compañía que explota los servicios públicos, a través de sus centrales.

En las instalaciones privadas con enlace con las líneas públicas, las centrales pueden ser manuales, semiautomáticas o automáticas. La compañía explotadora de los servicios telefónicos cobra un canon, calculado según el número de enlace y el número de conversaciones estimadas. Estas centralitas son exactamente iguales que las descritas en los capítulos anteriores. Nos limitaremos, a describir las instalaciones y aparatos utilizados en los sistemas privados sin enlace.

INSTALACIONES TELEFONICAS PRIVADAS SIN ENLACES TELEFONOS AUTOGENERADORES

Existen varios tipos de teléfonos autogeneradores, entre los cuales hemos escogido el de fabricación francesa llamado *Genefono*.

Estos aparatos se basan en la propia energía acústica de la emisión, la cual es suficiente para transmitir la voz a distancia.

En el año 1782 el monje dominico Gautbey utilizó un aparato acústico formado por dos bocinas unidas por un conductor metálico. Actualmente aún se emplea, debido a su gran simplicidad, en los barcos, para distancias muy cortas.

A principios del siglo XIX apareció un aparato formado por dos bocinas con membranas de pergamino, unidas entre sí con un cordel o bramante tenso. Las vibraciones de la membrana o diafragma emisor se transmitían a través del cordel al diafragma receptor.

En el año 1875 Graham Bell, en Estados Unidos, consiguió la primera unión telefónica eléctrica entre dos interlocutores.

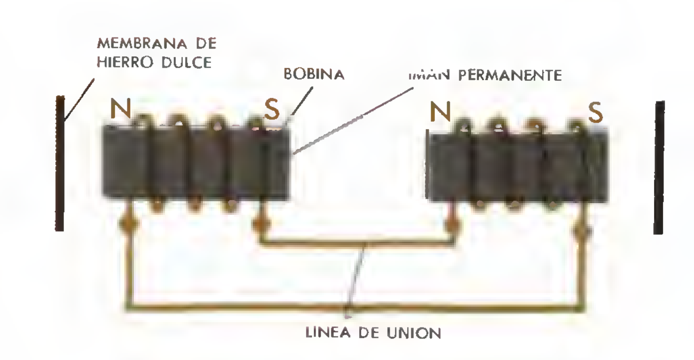
El principio del magnetoteléfono de Graham Bell es el mismo que se utiliza en los aparatos autogeneradores *Genefono*. Consiste en una bobina que rodea un imán permanente y un diafragma de hierro que se desplaza en el entrehierro del imán por influjo de las vibraciones acústicas. El esquema de la figura ilustra el principio del teléfono de Graham Bell.

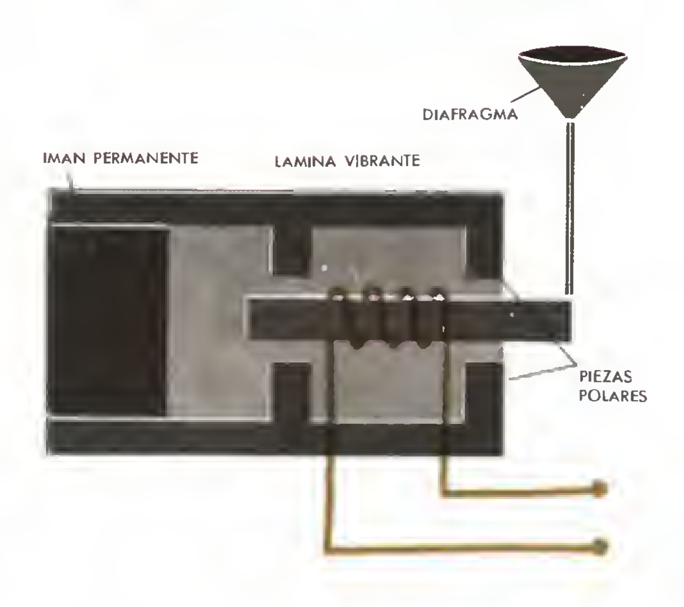
De las figuras precedentes y de cuanto se ha dicho se desprende que una de las características de los teléfonos autogeneradores es que el mismo órgano cumpla las funciones de emisor y de receptor.

La figura representa esquemáticamente el circuito magnético de una cápsula *Genefono*. Vemos que el imán permanente está prolongado por medio de dos piezas polares de forma especial, que forman cuatro entrehierros.

En reposo la lámina vibrante no está atravesada por ningun flujo; pero si desplazásemos esta lámina en el entrehierro, mediante las vibraciones acústicas (emisor), se induce una corriente eléctrica que al recorrer las bobinas del receptor hace vibrar las láminas de éste y reproduce las vibraciones acústicas en el diafragma (receptor).

El *Genefono* es, pues, un teléfono autogenerador, con dispositivo de llamada incorporado. No necesita pilas, acumuladores o alimentación eléctrica de ninguna clase.





Como hemos dicho, los micrófonos de los teléfonos normales son del tipo de carbón, generalmente granalla de carbón. Deben ser alimentados por una fuente de corriente continua de unos 3 voltios de tensión y su consumo oscila entre 30 y 75 mA.

Los teléfonos autogeneradores, cuyo principio hemos visto más arriba, utilizan micrófonos electromagnéticos con cuatro polos. No requieren fuente de alimentación alguna, pues la energía acústica suministrada por la voz del interlocutor cuando habla ante el micrófono se transforma en energía eléctrica. En el otro extremo de la línea, gracias a un dispositivo análogo, esta energía eléctrica se transforma nuevamente en acústica. Esta serie de transformaciones tiene lugar con un alto rendimiento, gracias a lo cual el nivel de conversación es igual que en un teléfono de pilas o de baterías.

Un microteléfono *Genefono* consta de:

2 cápsulas electromagnéticas, una utilizada como emisor y otra como receptor.

1 circuito de llamada de frecuencia sónica.

Los tres elementos están montados en un brazo estanco o blindado con entrada de cable por prensaestopas.

La figura representa dos tipos de *Genefono.*

Las excelentes características de los *Genefonos* conducen a establecer enlaces bilaterales entre aparatos situados a varias decenas de kilómetros, distancia que depende de la calidad del cable utilizado. Como orientación se dan los siguientes datos obtenidos experimentalmente:

100 Km con línea aérea de 3 mm².

20 Km con cable apantallado.

15 Km con cable paralelo plástico de 2 × × 0'5 mm².

2 Km con cable ordinario de campaña.

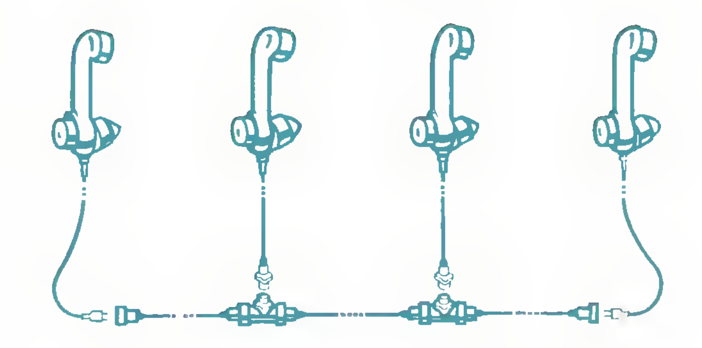
Las principales formas de utilización de los *Genefonos* son las siguientes:

1. Uniones bilaterales.
   Dos aparatos telefónicos, unidos por una línea de dos conductores, son suficientes para establecer una unión pilateral.
2. Unión entre varios postes en paralelo.
   Varios *Genefonos* pueden conectarse en paralelo, mediante una línea de dos conductores. En este caso, las llamadas emitidas por cada aparato, son recibidas por todos los demás aparatos, y es necesario utilizar un código de llamada convencional: una señal para el teléfono n.º 1, dos para el n.º 2, etc.
3. Unión entre un poste piloto y varios postes secundarios.
   En numerosas aplicaciones se necesita un poste piloto que pueda llamar y ser llamado por uno cualquiera de los postes secundarios de una red.
   Esta red puede realizarse fácilmente mediante aparatos *Genefono,* con un máximo de doce aparatos, que parten de otro mural provisto de un selector manual.



Combinado estanco de materia plástica Rilsan irrompible.

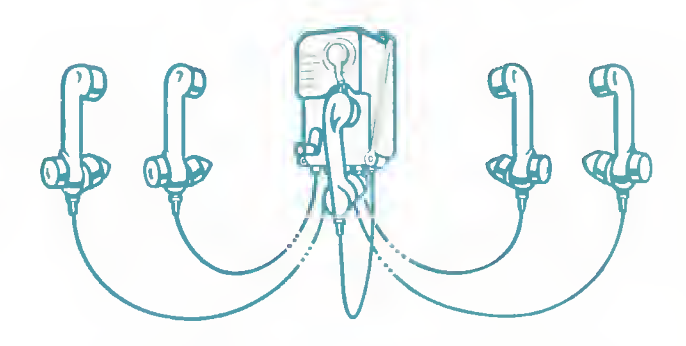
Combinado de tipo minas, para el empleo en ambientes cargados de vapores o de gases explosivos.



Unión entre varios postes en paralelo.



Unión bilateral.



Unión entre un poste piloto y varios secundarios.

4. Unión entre un poste central y varios postes secundarios.

Se fabrican también centralitas telefónicas *Genefono*, que pueden servir a 6-12-24 ó 100 teléfonos secundarios. Estas centrales pueden ser equipadas con un adaptador, que permite la unión con la red clásica exterior o privada.

INTERFONOS (STANDARD ELECTRICA, S. A.)

Reciben el nombre de interfonos los aparatos telefónicos para comunicación interior. Estos aparatos son muy útiles en pequeñas instalaciones, oficinas, hoteles, porterías, residencias, comercios, etc., tanto como lo es el teléfono en la comunicación con el exterior.

El manejo de los interfonos es muy sencillo, pues solamente es necesario pulsar un botón para efectuar la llamada al número con el cual se desea hablar, y sin intervención de ninguna central u operadora se establece el circuito de conversación al descolgar los microteléfonos.

La alimentación del sistema se hace por medio de una batería de pilas secas de 20 a 30 amperios/hora y de 3 a 4'5 voltios, con lo cual los gastos de mantenimiento son muy reducidos.

Los aparatos telefónicos utilizados permiten realizar las combinaciones siguientes:

1. Comunicación entre dos dependencias, utilizando dos interfonos de un botón.
2. Comunicación de una dependencia principal con otras diez secundarias, utilizando un interfono de seis botones y seis interfonos de un botón.
3. Comunicación de una dependencia principal con otras seis secundarias, utilizando un interfono de diez botones y diez interfonos de un botón.
4. Comunicación de seis dependencias entre sí, utilizando seis interfonos de seis botones.
5. Comunicación de diez dependencias entre sí, utilizando diez interfonos de diez botones.

Las figuras reproducen los distintos tipos de interfonos fabricados por Standard Eléctrica, S. A.



Interfono mural de una línea.

Interfono de sobremesa de una línea.



Interfono mural de diez líneas.

Interfono de sobremesa de diez líneas.

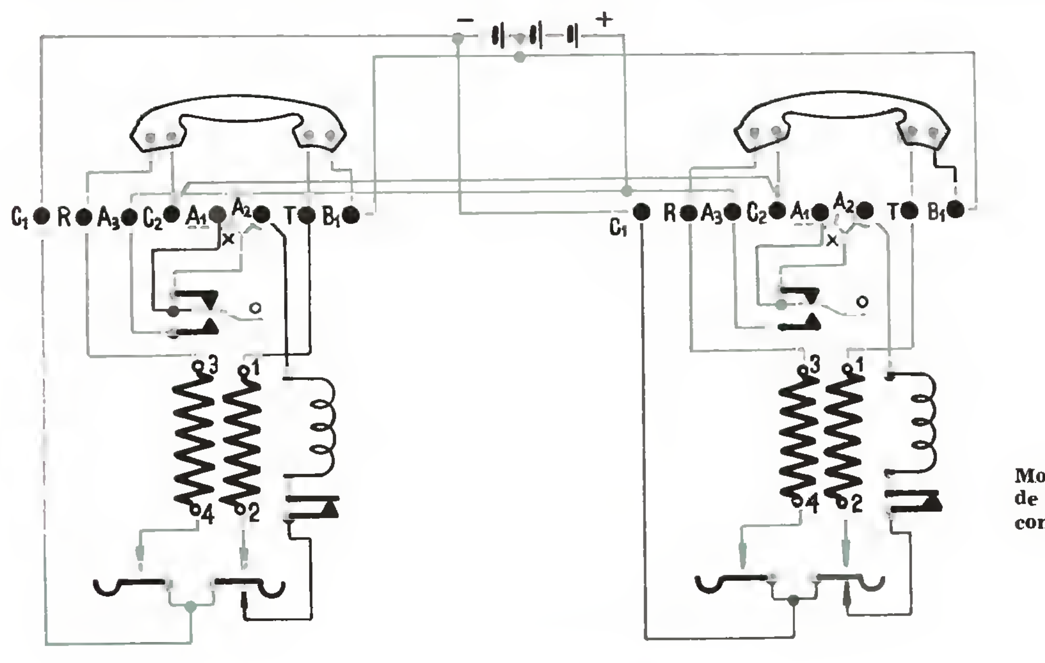
MONTAJE DE LOS INTERFONOS

Dos interfonos de una línea empleando una sola batería de llamada y de micrófono

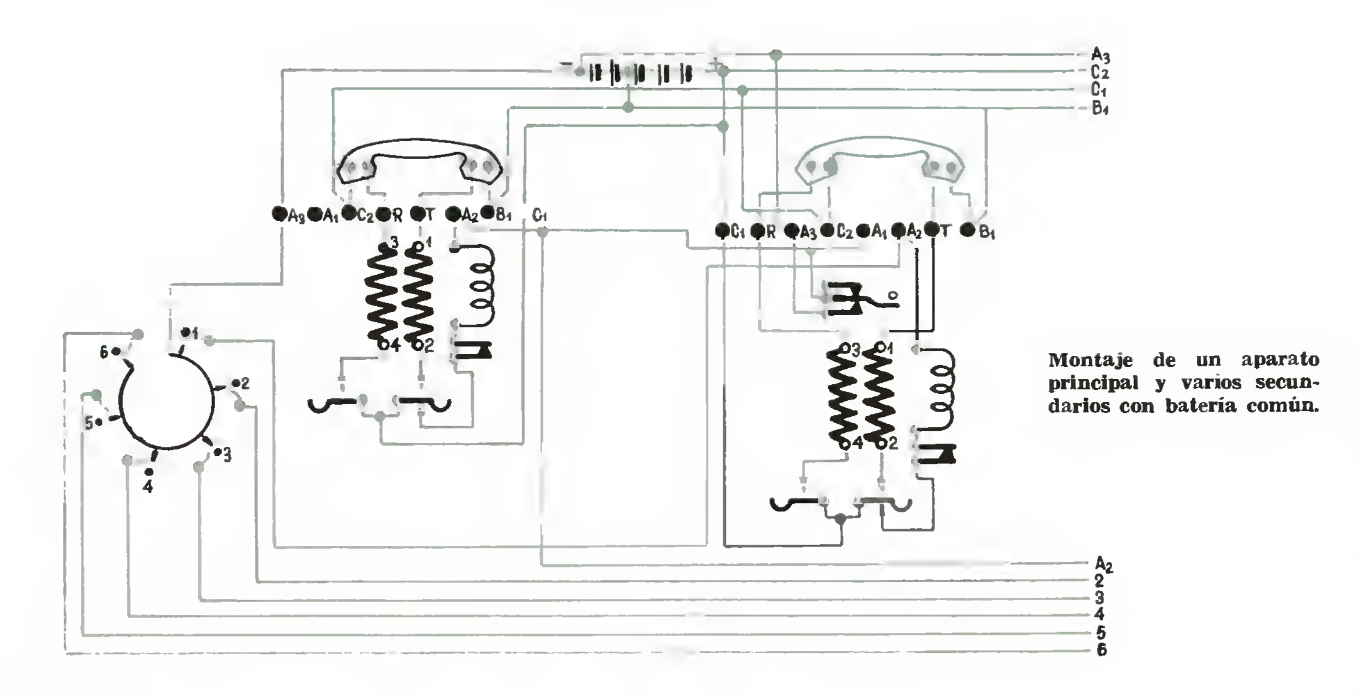
En este montaje se utilizan dos interfonos de un solo botón. Para la instalación debe emplearse cable bajo plomo, de dos pares de conductores, ya que la línea está formada por dos hilos de alimentación y dos de conversación.

La batería está compuesta de tres pilas secas cilíndricas y puede conectarse al lado de uno de los dos aparatos o en cualquier punto de la línea.

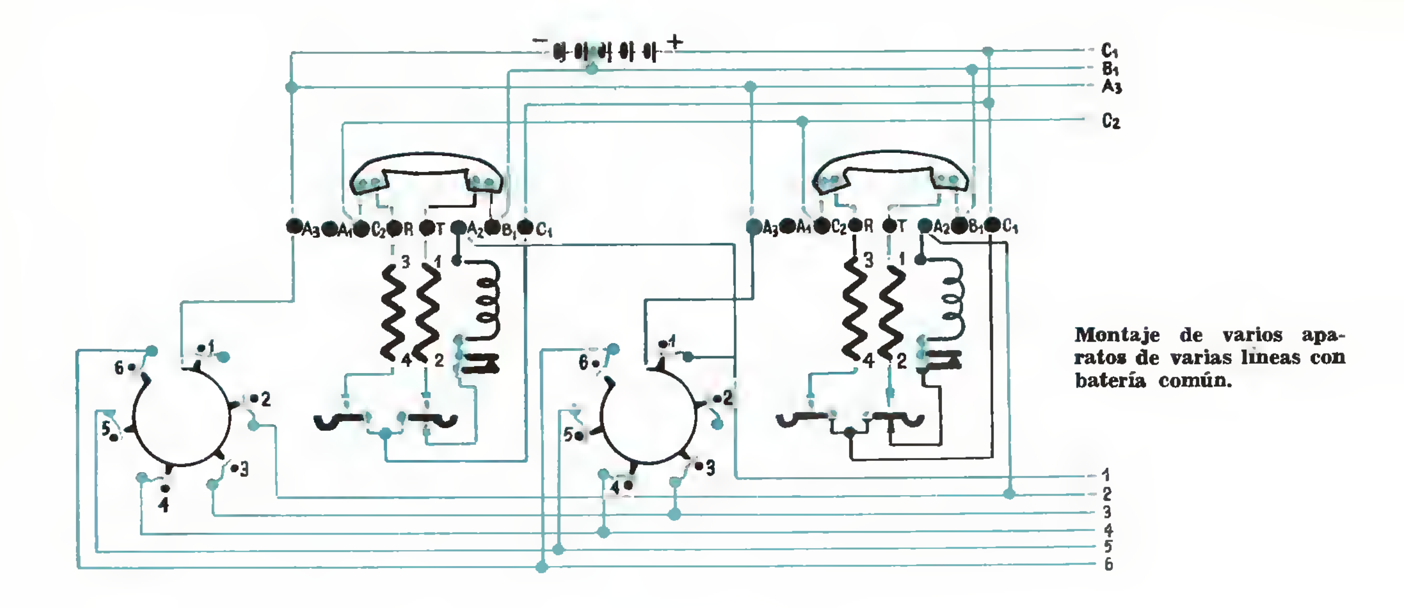
En el siguiente esquema de circuito para la interconexión de dos aparatos de una línea puede verse el puente C_2-A_1 y la conexión en X-A_2.



Montaje de dos aparatos de una línea con batería común.



Montaje de un aparato principal y varios secundarios con batería común.



Montaje de varios aparatos de varias líneas con batería común.

Un aparato principal de varias líneas y tantos secundarios de una línea como botones de llamada tenga el principal, empleando batería común de llamada y micrófonos.

Con este sistema pueden instalarse tantos interfonos como botones de llamada se equipen. Uno de ellos, llamado principal, lleva uno, seis o diez botones. El aparato principal puede llamar a cada uno de los secundarios, pero éstos sólo pueden comunicarse con el principal.

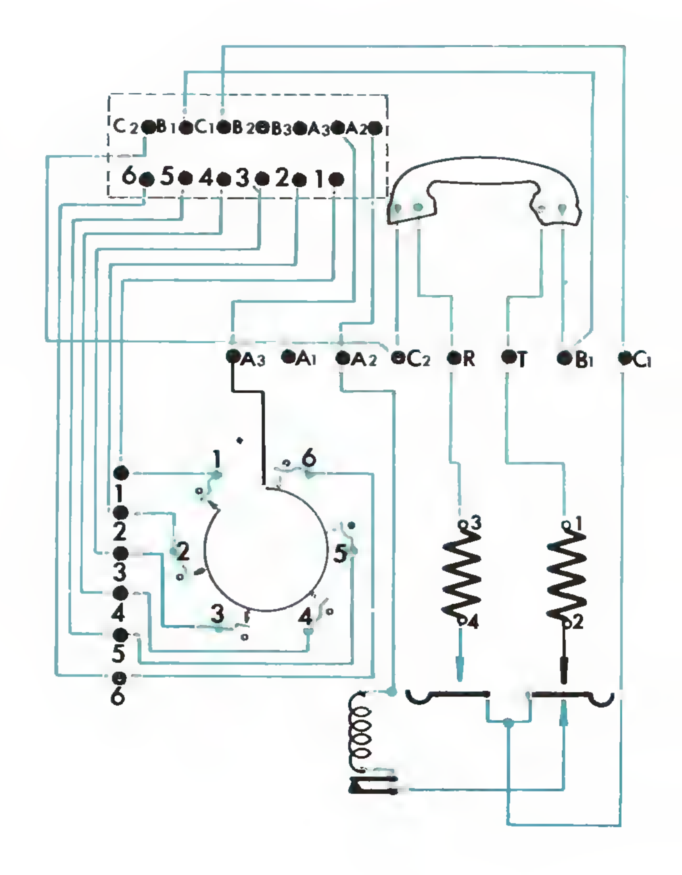
Para este montaje son necesarios cinco hilos comunes a todos los aparatos, en todo el recorrido, para batería y conversación más un hilo para la llamada de cada aparato que se instale. Debe tenerse en cuenta, al calcular los cables, que el número de conductores va de mayor a menor, contando desde el aparato principal hacia el último secundario; y por cada dos teléfonos en la línea el cable tendrá un par menos de conductores.

Varios interfonos de más de una línea empleando una sola batería común de llamada y micrófonos.

Este montaje permite que cada aparato establezca comunicación con los restantes, si bien no permite conversaciones simultáneas.

Los interfonos pueden ser de seis o de diez botones. Para este montaje son necesarios en todo el recorrido cuatro hilos comunes a todos los aparatos, para batería y conversación, más uno para la llamada de cada aparato que se instale. Por tanto, son necesarios cables de cinco pares para interfonos de seis botones y de siete pares para interfonos de diez botones.

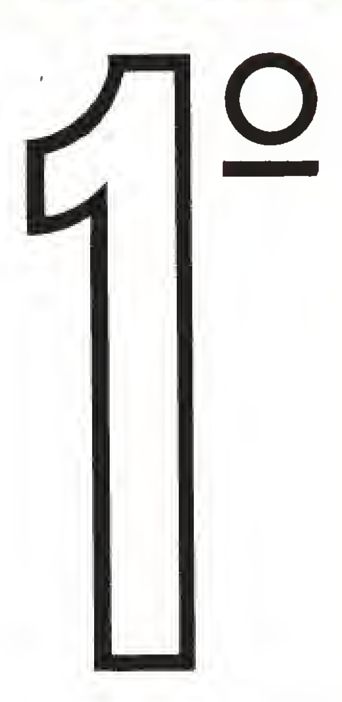
A continuación reproducimos el esquema del interfono de sobremesa de seis líneas.



Esquema de interfono de sobremesa de seis líneas.

E - 21

APENDICE



TALLER MECÁNICO

Limadora
Distintos tipos de limadora
Las herramientas
Datos característicos de una limadora



LECCION Nº 8

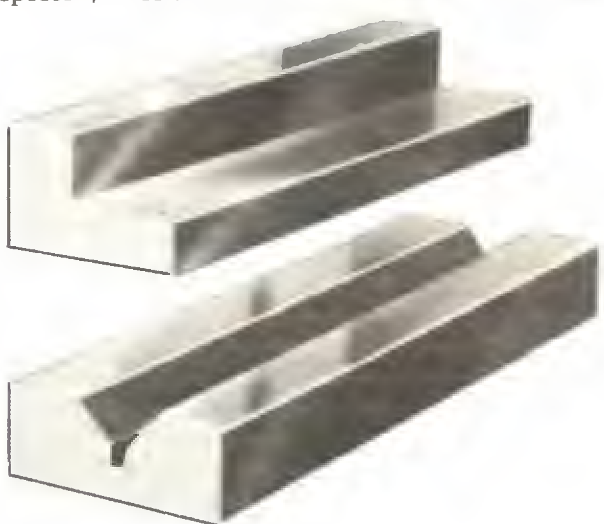
taller mecánico

8

LIMADORA

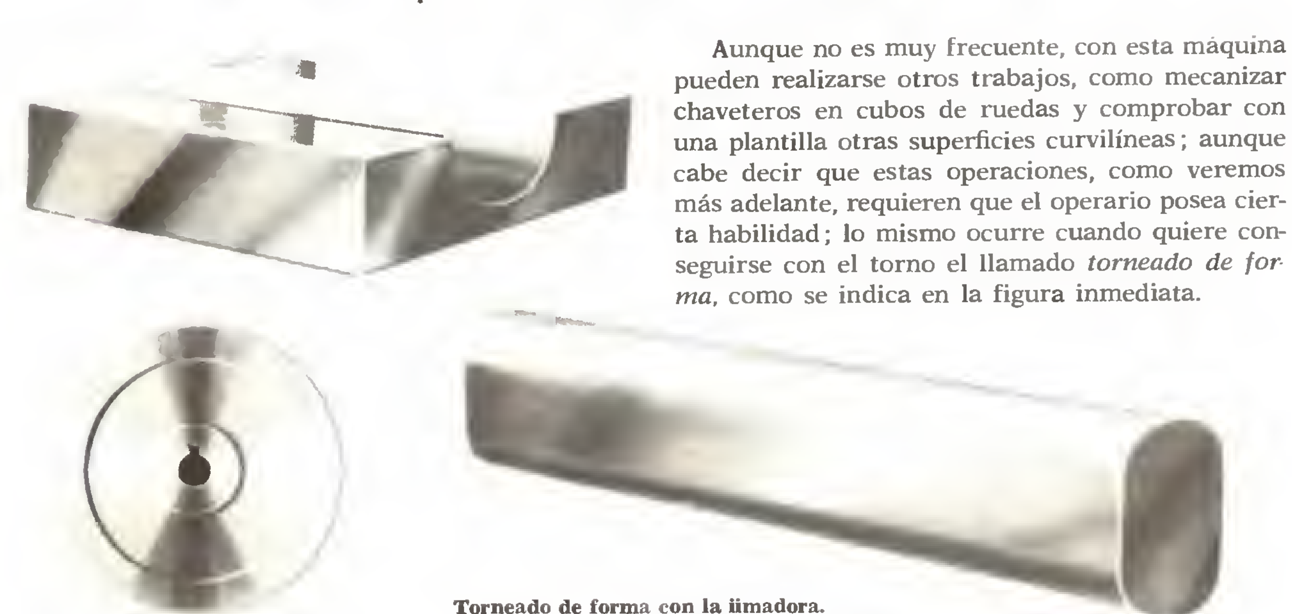
Esta máquina realiza, por lo general, el trabajo de formar superficies planas, que pueden ser horizontales, verticales o inclinadas. La combinación de varias superficies planas permite obtener piezas de formas muy distintas. Entre ellas las más frecuentes son las superficies de asiento. Sobre estas superficies otras piezas, también planas, pueden quedar fijadas a la perfección por la parte de contacto. Además, como trabajo propio de la limadora mencionaremos las guías o superficies para el deslizamiento de piezas móviles y, en general, todas las partes que así lo requieran por los anteriores motivos o simplemente para mejorar el aspecto y precisión de una o varias de sus caras.





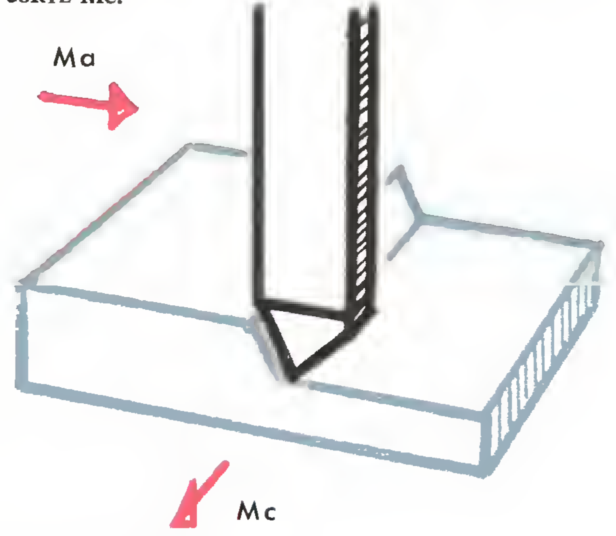
Operaciones características de la limadora.

Aunque no es muy frecuente, con esta máquina pueden realizarse otros trabajos, como mecanizar chaveteros en cubos de ruedas y comprobar con una plantilla otras superficies curvilíneas; aunque cabe decir que estas operaciones, como veremos más adelante, requieren que el operario posea cierta habilidad; lo mismo ocurre cuando quiere conseguirse con el torno el llamado *torneado de forma*, como se indica en la figura inmediata.



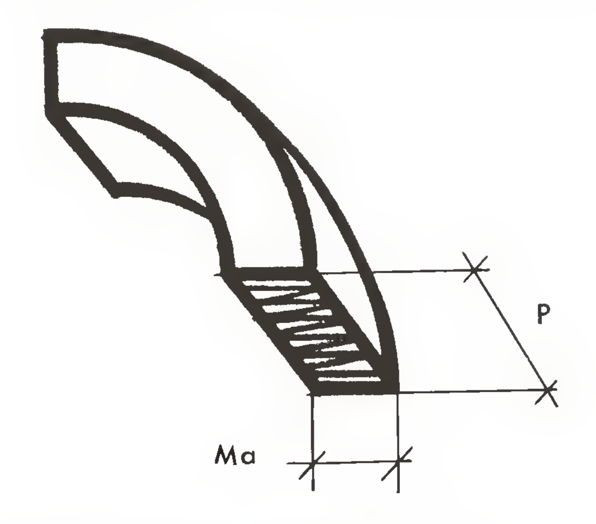
Torneado de forma con la limadora.

En la limadora la pieza a mecanizar se mueve sólo por pequeñas distancias y a intervalos de tiempo. En cambio, la herramienta —unida a la pieza móvil superior de la máquina— se desplaza con un movimiento rectilíneo alternativo. Al movimiento de la pieza se le llama MOVIMIENTO DE AVANCE Ma; al de la herramienta, MOVIMIENTO DE CORTE Mc.



Mc: movimiento de corte.
Ma: movimiento de avance.

Después de cada movimiento Mc, la herramienta retrocede y la pieza avanza una corta distancia en sentido lateral Ma, la que determina el espesor de pasada y por tanto el de la viruta, cuya forma y sección son las que representamos en la figura. La cota **P** representa la profundidad de la pasada, y se obtiene haciendo descender la herramienta hasta esta profundidad antes de cada pasada.



Espesor de pasada y profundidad de pasada en la viruta.

LAS HERRAMIENTAS

Las herramientas de corte que se emplean en la limadora están fabricadas en acero al carbono o acero rápido y emplean puntas de metales duros (widia).

Las herramientas antes citadas tienen gran parecido con las empleadas en el torno. Sin embargo, hay que decir que, por causa del trabajo discontinuo a que están sometidas (en cada pasada pierden contacto con la pieza), sufren un pequeño golpe cada vez que se inicia la pasada, razón por la que deben ser algo más resistentes. En estas herramientas hay que considerar los mismos ángulos que los necesarios para el torneado. Éstos obedecen a la idea general de que el ángulo del filo de la herramienta debe aproximarse a unos 80° a 85° para piezas de material duro y hacerse más afilado, de 60° a 70°, para piezas blandas.

Para obtener cierta elasticidad en la herramienta hay que darle, algunas veces, forma acodada. Para ello es necesario que el filo de la herramienta se halle situado en la prolongación del eje de su parte recta. De esta forma, a causa de su flexibilidad el filo mantiene la misma profundidad de pasada, aunque se produzcan pequeños desplazamientos laterales. No ocurre tal cosa cuando el filo está adelantado o retrasado con respecto a

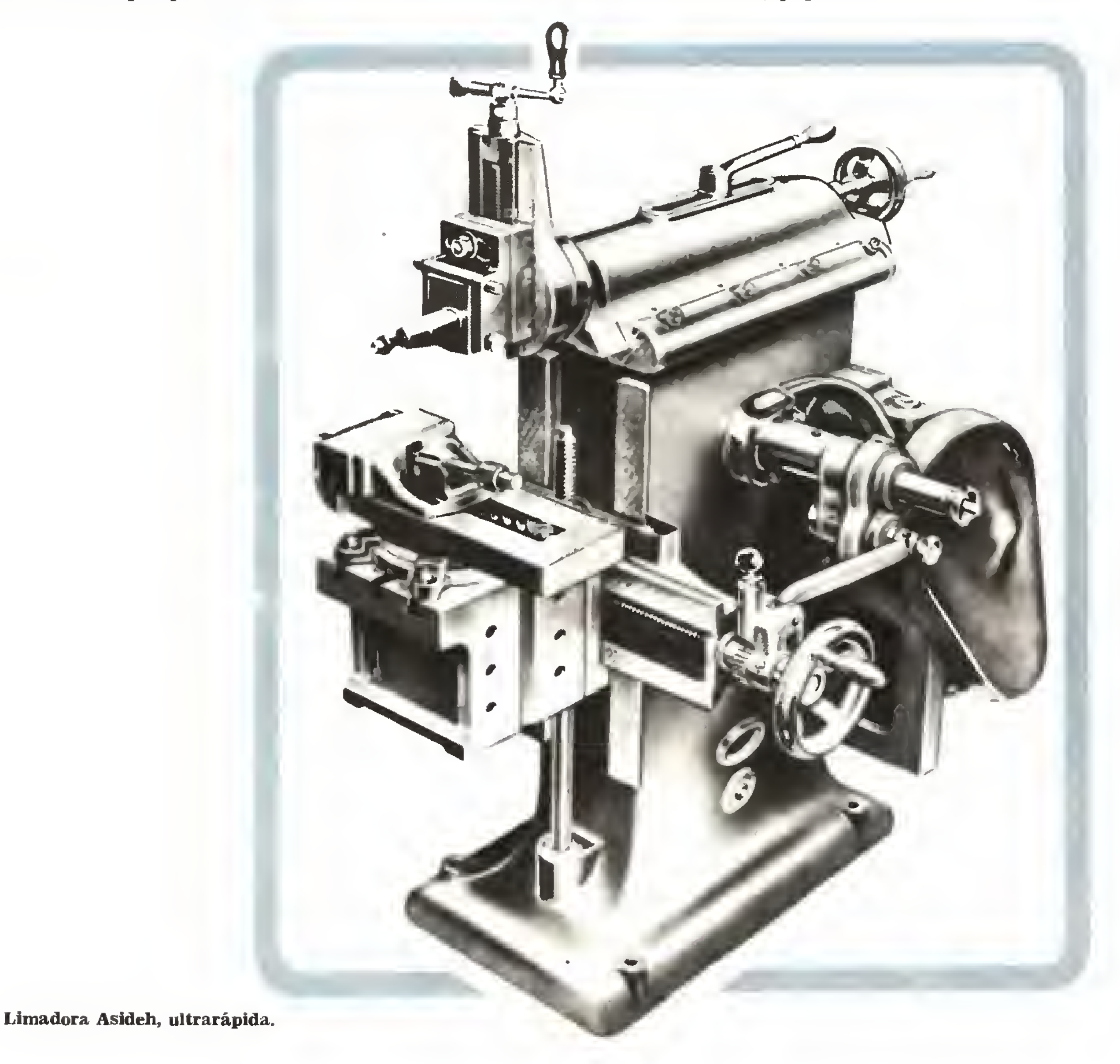


este punto. En el primer caso aumenta la profundidad de pasada al producirse la flexión, y en el segundo caso disminuye, como puede apreciarse en el esquema contiguo. Si I es la posición antes

de la flexión y II la que adquiere después, puede notarse la variación de altura *h*, la cual aumenta (con peligro de romper la herramienta) o disminuye (arrancando menos material). Esta precaución puede compararse a la necesidad de colocar a la misma altura el punto del torno y el filo de la herramienta.

DESCRIPCION DE LA MAQUINA

El conjunto de la máquina queda montado sobre un zócalo o soporte de fundición con las necesarias propiedades de solidez y estabilidad. En la parte superior lleva unas guías en forma de cola de milano que permiten el deslizamiento de una parte móvil llamada *carnero*, la cual tiene un movimiento alternativo de vaivén producido en la mayor parte de estas máquinas por un sistema de biela ranurada. Por su parte superior la biela está unida al *carnero*, y por la inferior al zócalo.



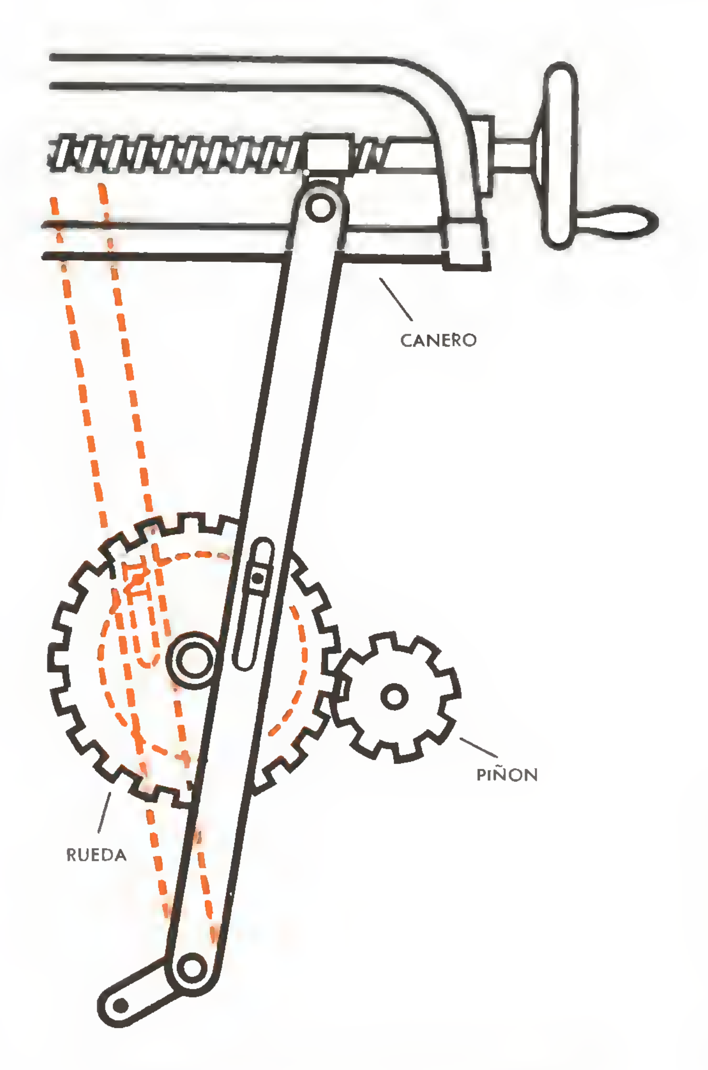
Limadora Asideh, ultrarápida.

El bulón alojado en la ranura de la biela describe una circunferencia, cuyo radio puede aumentar o disminuir, para modificar así la carrera del *carnero*. Si se trabajan piezas cortas el bulón debe describir una circunferencia de pequeño radio. Para piezas largas hay que aumentar tal radio; se consigue así mayor amplitud del movimiento de la biela, y por tanto mayor carrera de trabajo. La articulación inferior permite que la parte superior de la biela describa una trayectoria rectilínea. De no existir esta articulación la trayectoria sería una porción de circunferencia de radio igual a la longitud de la biela.

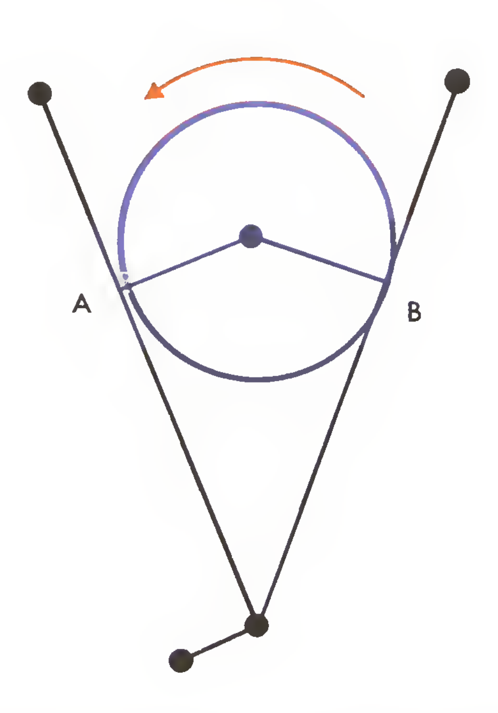
Aunque el movimiento giratorio que recibe la rueda sea uniforme, el del *carnero* no lo es: corresponde mayor velocidad a la carrera de retroceso y menor a la de trabajo. Esta diferencia de velocidades entre ambas carreras es fácil de comprender si observamos el esquema adjunto. Podemos ver que los puntos máximos **A** y **B** no están diametralmente opuestos; por tanto, la biela tarda más tiempo (en el sentido de giro indicado) en el desplazamiento B→A que en el A→B. El primero es la *carrera de trabajo* y el segundo la *carrera de retroceso.*

En su parte posterior el *carnero* lleva un volante-manivela que hace girar el tornillo. A éste se une la biela por medio de una nuez roscada. La distinta posición que puede ocupar esta cabeza superior de la biela a lo largo del tornillo hace que el *carnero* trabaje más cercano a la bancada o más alejado. Esta variación de la zona de trabajo puede lograrse siempre que esté aflojada la palanca superior. Una vez escogida la posición por giro del tornillo, se fija el *carnero* con la mencionada palanca.

En los dos esquemas inmediatos se ve con claridad la diferente posición de trabajo del carnero. En ambas figuras la pieza es de pequeña longitud. Por tanto, la pieza alojada en la ranura de



Mecanismo de arrastre del carnero. Representación esquemática.



la biela debe describir una circunferencia de reducido radio. La palanca de fijación se encuentra en posición adelantada en la primera figura y retrasada en la segunda. Esto equivale a decir que el *carnero* está, respectivamente, retrasado y adelantado.

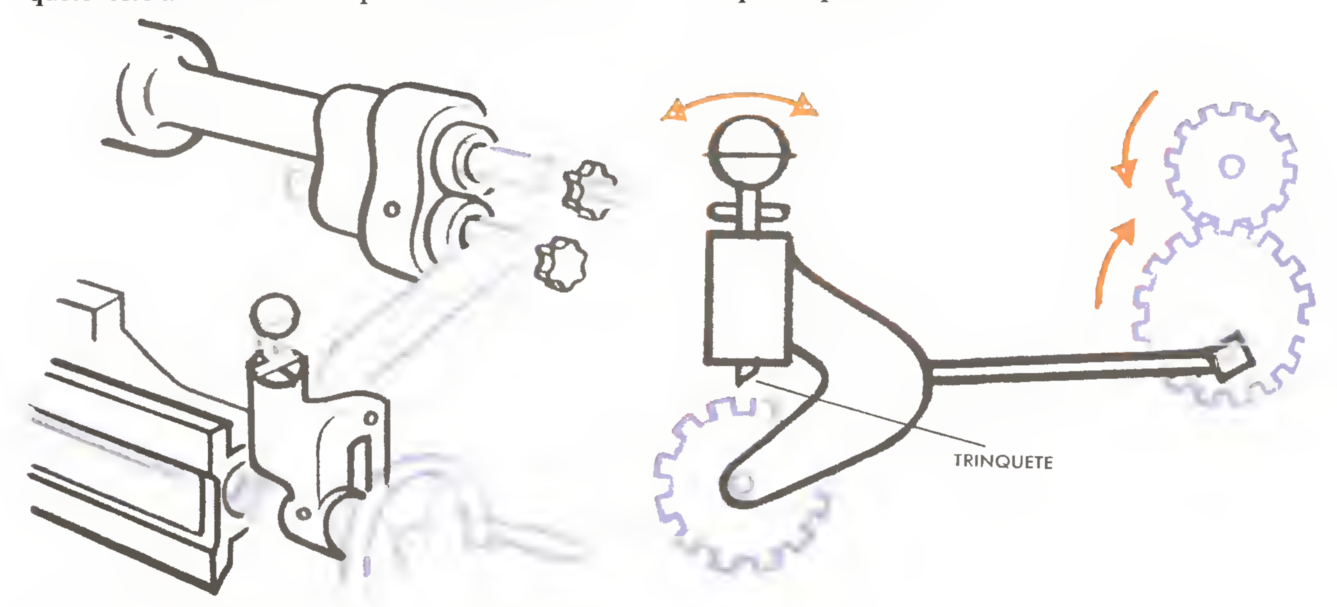
La longitud de la carrera se regula actuando sobre el eje del cuadrado del mecanismo, que sobresale por un lado del bastidor y que se bloquea por una tuerca manual.

Debajo de este mecanismo, y tomando de él

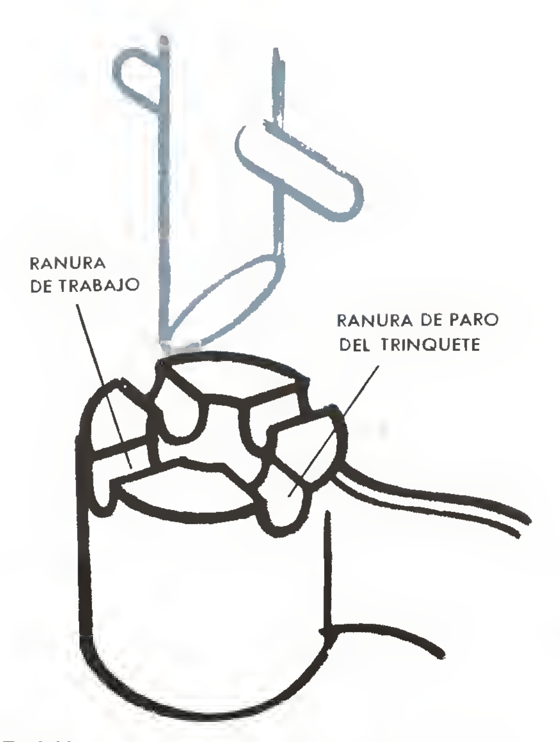
Dos posiciones de trabajo: carnero retrasado y carnero adelantado.

su movimiento, está el de avance automático, que produce el giro intermitente del tornillo horizontal.

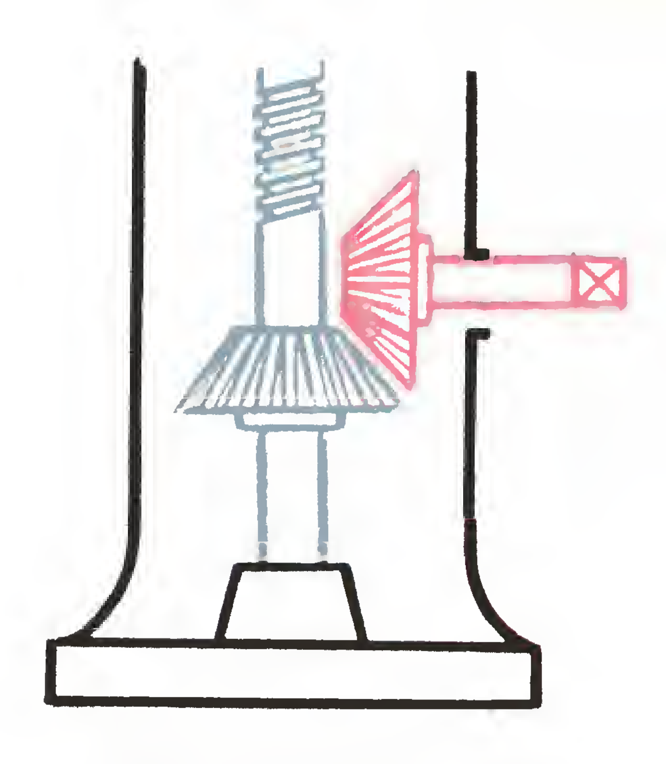
El fundamento de este mecanismo de alimentación puede verse en el esquema cercano. El piñón inferior lleva una ranura donde está alojada una pieza articulada con la cabeza de la biela. Modificando la excentricidad de esta pieza la biela provoca movimientos más amplios del trinquete biselado. Éste hace pasar más dientes del piñón, lo que se traduce en mayores avances. Para cambiar el sentido del avance basta con girar el bisel 180 grados: entonces se produce un movimiento de sentido contrario al anterior. Si se quiere actuar con el mando manual, el trinquete no debe tocar el piñón. Para ello se levanta y dándole un giro de 90 grados se coloca en una hendidura de menor profundidad que la que ocupaba al trabajar y que actuando de tope evita que toque el piñón.



Representación del mecanismo de avance automático.



Posición del trinquete para actuar con mando manual.



Mecanismo de elevacion y descenso de la mesa.

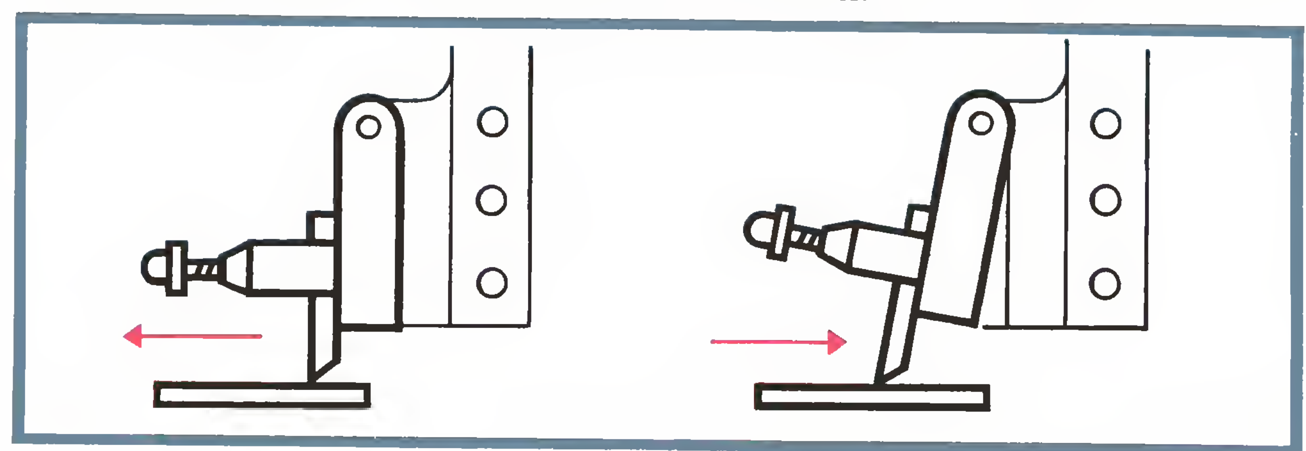
Cerca del husillo horizontal se encuentra una barra que por medio de un engranaje cónico hace girar el tornillo vertical. Éste se utiliza para la elevación y descenso de la mesa. Para que sea posible esta elevación o descenso es preciso que estén aflojados los tornillos, que actúan sobre las caras posteriores de las guías.

En su cara anterior el *carnero* lleva un disco graduado que permite y mide la inclinación del pequeño carro del portaherramientas. Cuando es preciso limar superficies horizontales o verticales el disco se deja en la lectura *cero*, que corresponde a la posición vertical del carro. Sólo se inclina cuando hay que limar superficies inclinadas; por ejemplo, colas de milano.

La fijación de las piezas se realiza por medio del sistema representado en el esquema. En él puede apreciarse que la placa base está articulada para impedir que la punta de la herramienta se estropee en la carrera de retroceso.

Debe evitarse de modo especial que la herramienta salga demasiado por su parte inferior, a causa del peligro de que pueda romperse al tomar contacto con la pieza.

La herramienta puede adoptar posiciones inclinadas, que son necesarias para limar superficies oblicuas. Para ello basta con aflojar su tornillo de fijación y hacer girar la pieza donde está alojada. Con objeto de aumentar las posibilidades de desplazamiento, la caja portaherramientas lleva un agujero rasgado curvo, que permite aumentar la inclinación de la herramienta si se afloja la tuerca de fijación, ideada exprofeso para este menester.

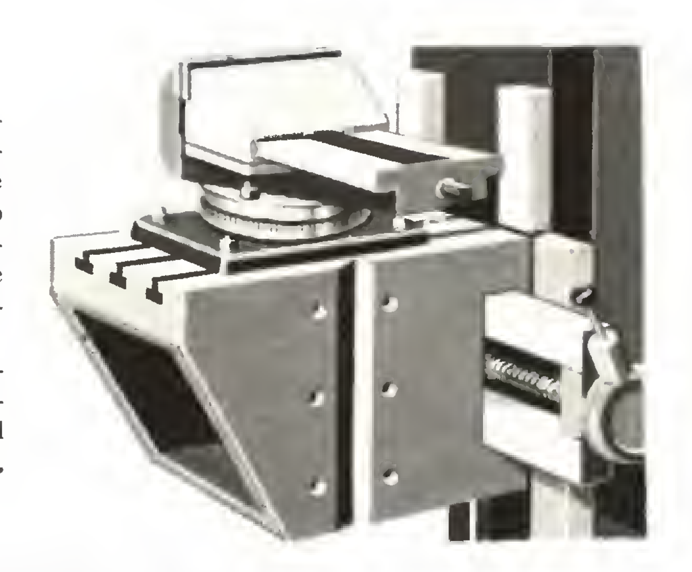


Fijación de las herramientas.

FIJACION DE LAS PIEZAS

Las piezas se fijan por diversos sistemas, según sean sus características. Para piezas pequeñas se utilizan mordazas de caras paralelas que se colocan sobre la mesa y se fijan a ésta utilizando las ranuras T y los correspondientes tornillos. Estas mordazas suelen ser de base giratoria. Este giro es regulable por medio de las oportunas divisiones en grados marcadas en la base.

Cuando las piezas sean de dimensiones mayores que las que admite la mordaza se sujetan directamente sobre la superficie superior o lateral de la mesa, empleando para ello los tornillos T, ya citados, y las adecuadas bridas.

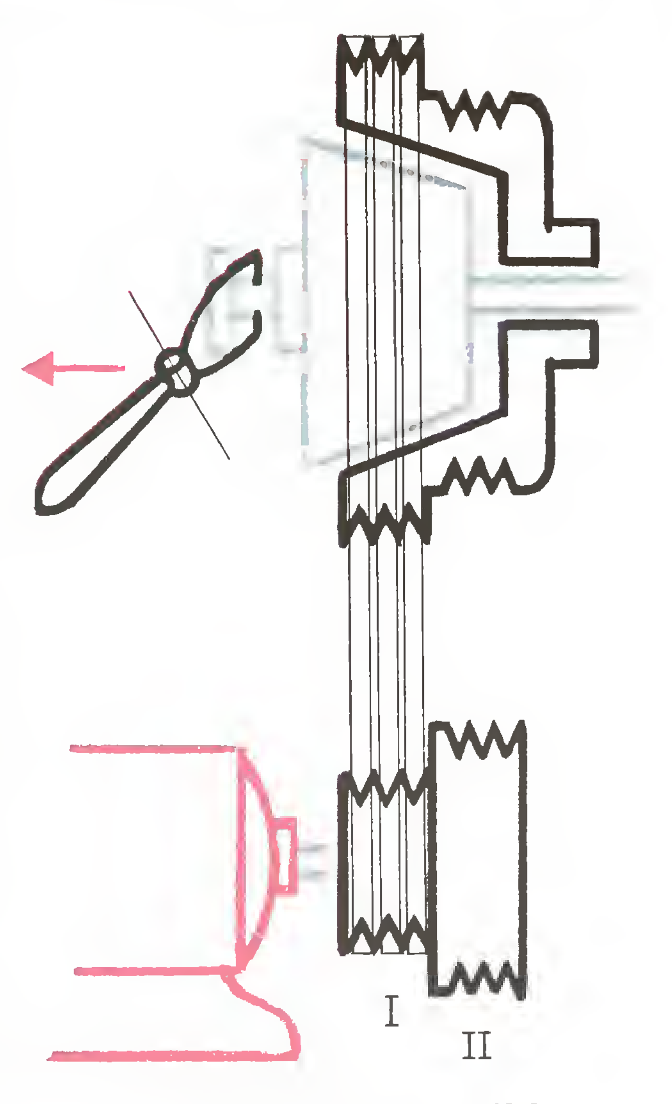


INFLUENCIA NOCIVA DE LAS VELOCIDADES EXCESIVAS

Ya vimos antes que el movimiento del *carnero* se producía al describir una circunferencia de mayor o menor radio una pieza alojada en la ranura de la biela. De esta forma puede regularse la carrera, aunque no la velocidad de corte Vc. Para conseguir esto último se cuenta con una caja de cambio de velocidad por ruedas dentadas, lo que permite que la rueda impulsora de la biela gire a distintas velocidades. Con ello se obtiene la gama de velocidades necesaria para trabajar los distintos materiales. Con referencia a estas velocidades cabe decir —y ello tiene mucho interés— que, aunque los materiales de pieza y herramienta permitan en teoría una gran velocidad de corte, la limadora no puede trabajar con ella por causa de su misma construcción y por tener una marcha discontinua. El cambio de sentido del movimiento puede provocar una sacudida en la transmisión que debe evitarse cuando la velocidad excede de 25 ó 35 metros por minuto. También influye en contra de las grandes velocidades el hecho de que cada comienzo de pasada el filo de la herramienta choca con la pieza. De este modo, con velocidades demasiado rápidas puede perjudicarse mucho la pieza, especialmente si se mecaniza con herramientas cuyo filo es de metal duro.

Para velocidades rápidas es mucho mejor que los recorridos o carreras del *carnero* sean cortos. Por tanto, para carreras largas hay que reducir la velocidad.

Es muy frecuente, en las limadoras, disponer de un embrague cónico en la polea receptora de la transmisión del motor. De este modo el motor puede arrancar en vacío y embragarse una vez haya alcanzado cierta velocidad.



Esquema del cambio de velocidades.

Las correas de la transmisión son trapezoidales y pueden ocupar las posiciones I o II.

Cuando se conecta el motor a la línea, el tambor de las poleas receptoras gira loco alrededor del eje. Este eje únicamente se pone en movimiento cuando, al actuar sobre la palanca en el sentido indicado, la horquilla obliga al cono a introducirse. Se produce así el embrague gracias al conocido principio de la cuña. Si se quiere detener el movimiento del *carnero* no es preciso desconectar el motor, sino tan sólo desembragar.

Las palancas del cambio de velocidades llevan unas indicaciones para saber qué velocidad corresponde a cada una; se especifica en golpes o carreras del *carnero*. Conocida ésta y la longitud recorrida en cada carrera, se deduce con facilidad la velocidad en metros/minuto.

Como norma orientadora de lo dicho antes incluimos una tabla en que pueden observarse las velocidades convenientes para longitud de carrera.

Longitud carrera mm	Carreras por minuto	Velocidad de corte Vc
400	35	24
340	45	25
285	55	27
230	65	28
175	90	29
130	135	33

PRINCIPALES DATOS CARACTERISTICOS DE UNA LIMADORA

Recorrido o carrera máxima. Es la máxima longitud que puede recorrer la herramienta. Esto supone, por tanto, que es también ésta la máxima longitud de pieza que la máquina puede trabajar.

Altura máxima entre la mesa y el carnero. Una vez conocido este dato se sabe cuál es la altura máxima que pueden tener las piezas que deban fijarse en la superficie superior de la mesa.

Recorrido máximo horizontal de la mesa. Por medio de este dato se conoce el ancho de las piezas, para trabajarlas en toda su dimensión sin necesidad de modificar la fijación.

Recorrido del portaherramientas. Es un dato muy útil para conocer la máxima altura, o desnivel vertical, que puede trabajarse tanto si la superficie es vertical como si es inclinada.

Dimensiones de la mesa. Es necesario conocer las dimensiones de la mesa para determinar con antelación el sistema de fijación de las piezas, ya que la pieza ocupa toda o parte de la superficie horizontal de la mesa.

Velocidades del carnero. Se refieren tanto al valor de estas velocidades como a su número. Cuando mayor sea su número, más fácil es acomodar la velocidad a las dimensiones de la pieza, a la naturaleza de su material y al de la herramienta con objeto de conseguir el máximo rendimiento productivo con el mínimo desgaste.

Capacidad de avance horizontal de la mesa. Este avance depende del grado de excentricidad que se ponga. Por lo general puede llegar hasta 1'5 mm. Por tanto, el espesor de la viruta puede oscilar entre 0 y este valor máximo.

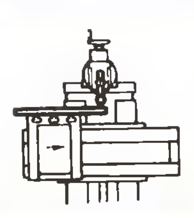
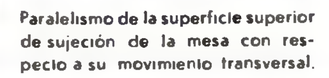
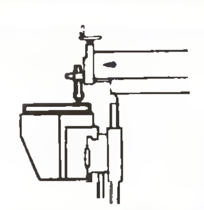
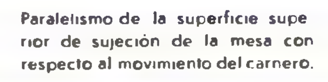
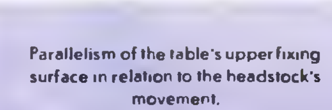
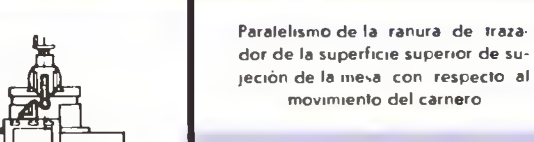
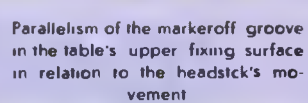
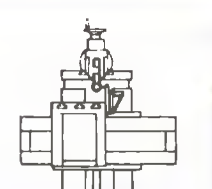
Potencia del motor. La potencia del motor en CV permite calcular con antelación la línea eléctrica y los fusibles.

Dimensiones y peso. Las dimensiones y el peso permiten calcular la cimentación, colocación próxima a muros, pilares o a otras máquinas, posibilidad de transporte con camión, tren, barco, etcétera, y también para la resistencia del suelo, sobre todo cuando la máquina se instala en pisos con otra planta o con sótanos debajo.

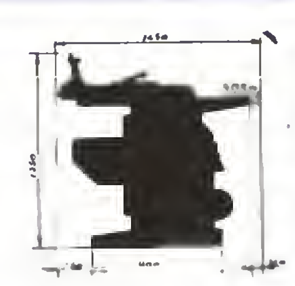
Engrase y entretenimiento. Son un conjunto de normas que recomienda el fabricante para que la máquina tenga un funcionamiento satisfactorio sin averías de ninguna clase. Además de la limpieza suelen indicarse los puntos de engrase, su periodicidad y el lubricante más adecuado.

Verificación. Los fabricantes escrupulosos entregan con la máquina un certificado de garantía en el que hacen notar los defectos de paralelismo, perpendicularidad, etc., que tienen las diversas partes de la máquina, especialmente las móviles. Estos defectos deben estar siempre por debajo de los máximos errores de medida permitidos por las normas de verificación aceptadas por diversos países. A título de ejemplo añadímos un cuadro de verificación extraído de un catálogo comercial.

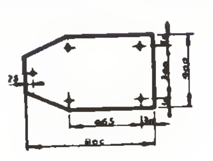


	 Paralelismo de la superficie superior de sujeción de la mesa con respecto a su movimiento transversal.	Reloj palpador. Regleta, longitud aproximada 2 veces el ancho de la mesa.	0,02 sobre 300 mm. Máximo 0,05.
	Parallelism of the table's upper fixing surface in relation to its cross movement.	Handling micrometer. Ruler, approximate length 2 X width of table.	0,02 per 300 Meximun 0,05
	 Paralelismo de la superficie superior de sujeción de la mesa con respecto al movimiento del carnero.	Reloj palpador Regleta, siendo la longitud, aproximadamente, la de la mesa	0,02 sobre 300 mm. Maximo 0,05
	 Parallelism of the table's upper fixing surface in relation to the headstock's movement.	Handling micrometer. Ruler, length aproximately that of the table	0,02 per 300 mm Maximun 0,05
	Paralelismo de la ranura de trazador de la superficie superior de sujeción de la mesa con respecto al movimiento del carnero	Reloj palpador. Regleta de tope, siendo la longitud aproximadamente, la de la mesa	0,03 sobre 300 mm Máximo 0,06.
	 Parallelism of the markeroff groove in the table's upper fixing surface in relation to the headstck's movement	Handling micrometer. Stop Ruler, length approximately that of the table.	0,03 per 300 mm. Maximun 0,06
	Paralelismo de las superficies laterales de sujecion de la mesa con respecto al movimiento del carnero.	Reloj palpador. Regleta de tope siendo la longitud aproximadamente la de la mesa.	0,03 sobre 300 mm. Máximo 0,06
	Parallelism of the table's lateral fixing surfaces in relation to the headstock' movement	Handling micrometer. Stop-Ruler, length approximately that of the table	0,03 per 300 mm. Maximun 0,06.









CEPILLADORA DE PUENTE

Conviene advertir que no es adecuado el empleo de la limadora cuando hay que trabajar piezas voluminosas o muy pesadas. En el caso de que la pieza sea de gran volumen el *carnero* tendría que salir en voladizo a demasiada distancia; entonces peligraría la exactitud del trabajo, porque una pequeña holgura en las guías se traduce en una apreciable variación en la altura de la pasada. Esta dimensión puede también ser excesiva en sentido transversal al *carnero*. La máquina admite como máximo el desplazamiento transversal que admite el movimiento de la mesa.

Las piezas demasiado pesadas no son adecuadas para la limadora, aunque la máquina este provista de apoyo desmontable para la mesa.

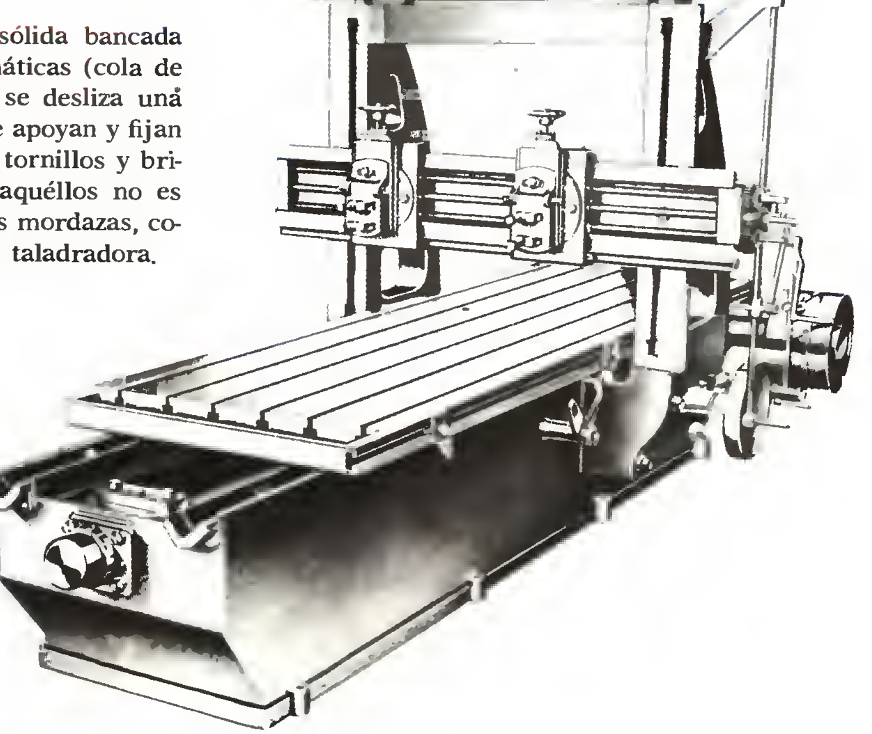
Es necesaria, por tanto, una máquina capaz de conseguir superficies planas en piezas pesadas o voluminosas para suplir a la limadora en estos cometidos. Esta máquina se llama CEPILLADORA DE PUENTE *o* simplemente CEPILLADORA.

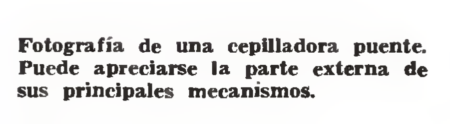
La diferencia fundamental del funcionamiento de una limadora y el de una cepilladora consiste en que mientras en la primera el movimiento de corte Mc lo tenía la herramienta, en la segunda lo tiene la pieza. En la cepilladora el movimiento de avance Ma corre a cargo de la herramienta.

Máquina	Movimiento corte Mc	Movimiento avance Ma	Movimiento penetración
Limadora	Herramienta	Pieza	Herramienta
Cepilladora	Pieza	Herramienta	Herramienta

DESCRIPCION DE LA MAQUINA

La cepilladora consta de una sólida bancada de fundición con unas guías prismáticas (cola de milano, en V, etc.) sobre las que se desliza una mesa plana con ranuras T, donde se apoyan y fijan las piezas por el procedimiento de tornillos y bridas, dado que por el tamaño de aquéllos no es posible realizar esta fijación con las mordazas, como se hace en la limadora y en la taladradora.




Fotografía de una cepilladora puente. Puede apreciarse la parte externa de sus principales mecanismos.

Fijación por tornillos y bridas.

Tope a apoyo graduable.

MESA MOVIL
RODILLO
ACEITE
BASTIDOR

Sistema de engrase de la mesa.

Arrastre de la mesa: por cremallera y por tornillo.

Cuando la pieza no presenta una superficie de apoyo plana debe recurrirse al empleo de topes de apoyo graduables, como puede verse en la figura contigua.

Para que disminuya el roce de la mesa con las guías, éstas se lubrican por medio de engrase a presión. Con ayuda de pequeños fosos con aceite, y por medio de rodillos medio sumergidos y en contacto con las guías de la mesa, éstas van engrasándose.

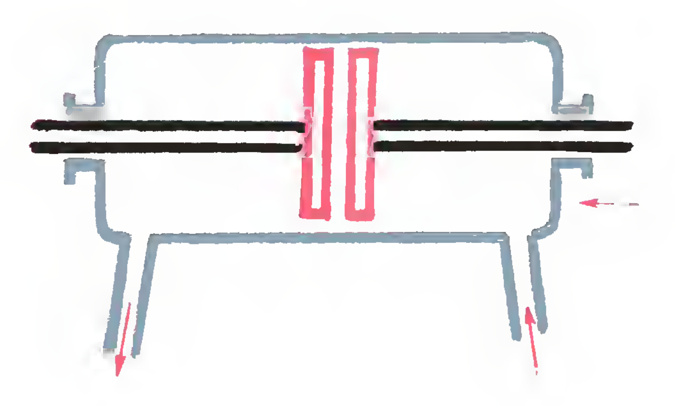
La mesa se desliza sobre las guías de la bancada o bastidor con un movimiento rectilíneo alternativo, producido generalmente por un piñón que actúa sobre una cremallera unida a la parte inferior de la mesa.

También puede emplearse el sistema de tornillo y tuerca.

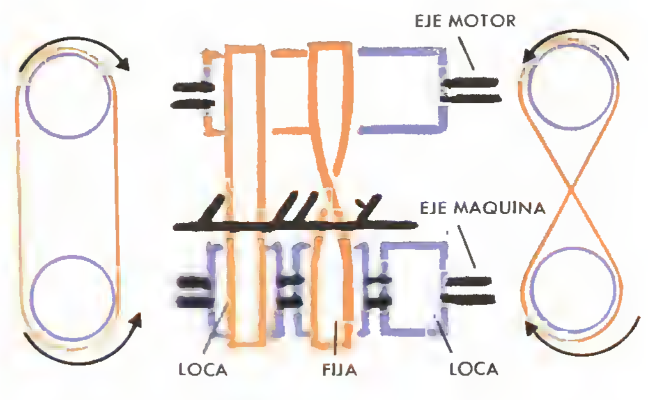
Las máquinas más modernas consiguen esta impulsión por medio de un émbolo, que se mueve en el interior de un cilindro impulsado por aceite a presión inyectado por ambos lados de modo alternativo.

En todos los sistemas indicados es necesario provocar la inversión del movimiento. En el primer caso el piñón tiene que cambiar su sentido de giro. En el sistema de tornillo será éste el que cambie de sentido de giro. Y en el de émbolo, una llave cambia el punto de entrada del aceite a presión por el opuesto. La máquina lleva a un lado de la mesa móvil unos topes que pueden disponerse con distinta separación. Estos topes son los que, moviéndose con la mesa, actúan sobre un sistema de palancas que cambia el sentido del movimiento.

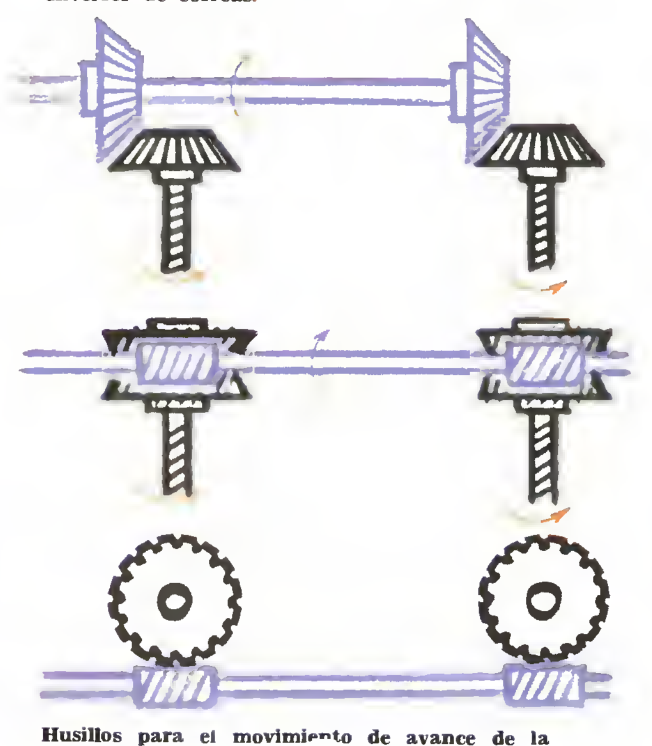
La separación entre estos topes y su colocación en la mesa dependen asimismo de la colocación de la pieza, ya que deben producir la inver-



Inversor de émbolo.



Inversor de correas.



Husillos para el movimiento de avance de la herramienta.

sión de la marcha en el momento en que la herramienta rebase la pieza por un lado y luego por el otro.

En las máquinas antiguas movidas por correa plana de cuero la inversión se producía por medio de una doble correa, una de ellas cruzada. Vea la figura.

Cuando el tope correspondiente llega a la palanca, las horquillas se desplazan y la correa que actuaba sobre la polea fija pasa a otra polea loca. Sobre esta polea actúa ahora la otra correa, la cual cambia el sentido de giro.

En las máquinas de émbolo la palanca que acciona el tope hace girar la llave de paso del aceite a presión. De este modo lo que era tubo de entrada pasa a ser tubo de salida.

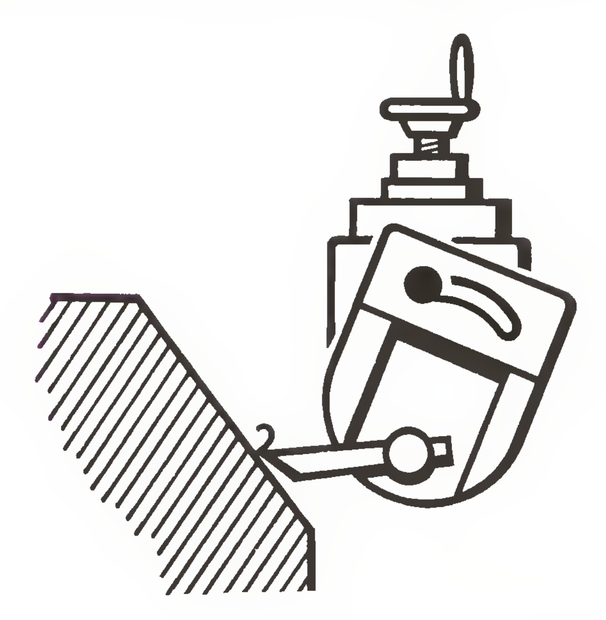
En las máquinas más modernas, movidas por tornillo o cremallera, la inversión se lleva a cabo por medio de mecanismos magnéticos que actúan sobre embragues especiales. De este modo se consigue que la carrera de retroceso sea más rápida.

Las herramientas se fijan de manera análoga a como hemos visto en la limadora. La herramienta recibe el movimiento de avance Ma para superficies horizontales, por medio de un husillo, también horizontal, que se mueve intermitentemente al final de cada pasada.

Si la superficie que se desea trabajar es perpendicular a la mesa, este movimiento de avance Ma lo recibe el puente a través de dos husillos verticales que giran simultáneamente, unidos por una barra superior. Esta barra está provista de piñones cónicos o tornillos sin fin.

Cuando se cepillan superficies planas inclinadas es preciso actuar sobre la escala graduada que se halla bajo el portaherramientas, de modo similar a como se hace en la limadora.





E-16

APENDICE



ELECTROMETRIA

Instrumentos de medida
Generalidades
Tipos de instrumentos



LECCION Nº 1



1

GENERALIDADES

Con esta lección empezamos el estudio de una rama de la electricidad que tiene una importancia indiscutible por lo mucho que ha cooperado y coopera en el desarrollo técnico de la industria: LA ELECTROMETRÍA.

Con el nombre de ELECTROMETRÍA denominamos la ciencia que trata de las medidas de magnitudes eléctricas y no eléctricas, aprovechando para ello distintos fenómenos debidos a una corriente eléctrica.

Entre las magnitudes que los aparatos electrométricos pueden medir contamos intensidad, tensión, potencia, frecuencia y resistencia, como más representativas de los circuitos eléctricos.

Existen magnitudes físicas no eléctricas cuyo cálculo cuantitativo puede efectuarse gracias al aprovechamiento de distintos fenómenos eléctricos. Así, la intensidad lumínica, el calor, la intensidad del sonido y otras magnitudes pueden medirse por medio de aparatos de funcionamiento eléctrico.

Sería largo citar los nombres de todos los científicos que con su aportación han hecho posible la moderna técnica de las mediciones eléctricas, porque nuestra lista debiera incluir los de todos los pioneros de la electricidad. Franklin, Coulomb, Galvani, Volta, Ampère, Faraday, Joule..., etc., nombres que representan los cimientos de este monumento de ciencia que es la electrotecnia, con toda la amplitud de concepto que puede abarcar la palabra. Ciencia exacta en cuanto puede trabajar con cantidades concretas, que día a día, cuanta más perfección se consigue en el control y aprovechamiento de la energía eléctrica, mayor exactitud requieren en su apreciación.

No puede extrañar que los inicios de la ciencia electrométrica surgieran de las necesidades que derivaban de la pura investigación científica. Media un considerable vacío entre la construcción netamente artesana de los primeros instrumentos de medida, cuya utilidad tenía sus límites dentro de los trabajos de laboratorio, y la aparición de los primeros voltímetros y amperímetros industriales de Ayrton y Perry. Hacia 1889 Thompson inventa y lanza al mercado el primer contador de energía eléctrica.

LOS INSTRUMENTOS DE MEDIDA

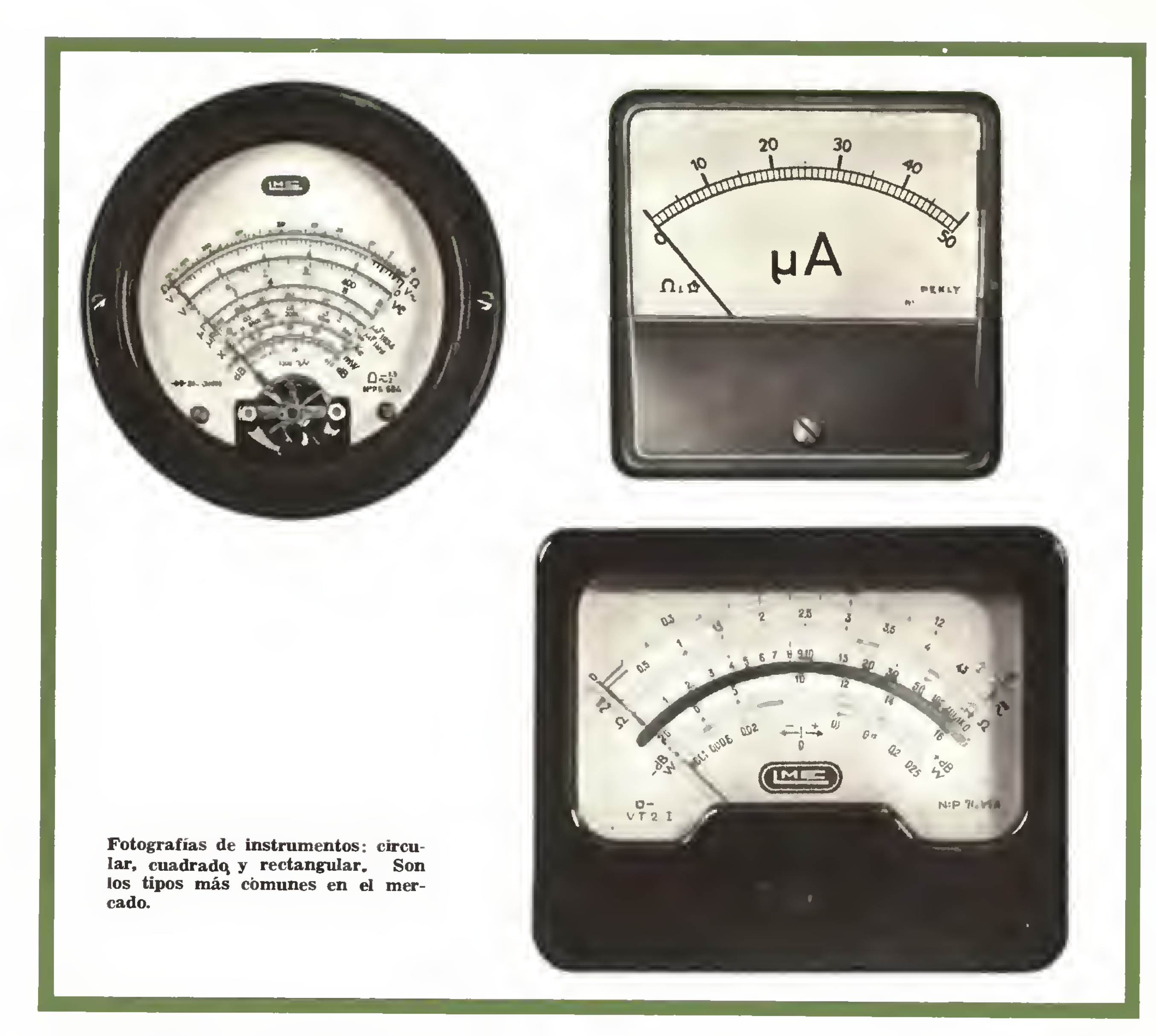
Actualmente, cuando la electrometría abarca un amplio campo de aplicaciones, es imposible pensar que pueda existir alguien (máxime si posee algunos conocimientos de electricidad, por mínimos que sean) que desconozca la forma o apariencia externa de los instrumentos que permiten efectuar la medición de una magnitud eléctrica.

El instrumento tipo puede ser definido como una caja cerrada de material aislante en cuya cara frontal aparece un arco de circunferencia de abertura determinada y graduado convenientemente. Barriendo radialmente este arco se mueve una aguja, que es el fiel que, al detenerse sobre un punto de la escala graduada (denominada generalmente esfera), indica la lectura a efectuar.

El ángulo barrido por la aguja depende, naturalmente, del valor de la magnitud eléctrica que haya provocado su desplazamiento.

La forma que hasta el momento puede considerarse tradicional para los aparatos de medida es la circular. Parece la más lógica, dado que la escala de lecturas está situada sobre un arco de circunferencia. Sin embargo, para facilitar la precisión en la apreciación de las distintas medidas — cosa que se consigue, entre otros sistemas, dando mayor amplitud a la carátula graduada —, la forma externa de los instrumentos ha variado considerablemente; han aparecido nuevos modelos, que responden a exigencias tanto de orden práctico como estetico, que si bien no afectan a unos resultados técnicos sí contribuyen a que el trabajo sea más agradable.

Así, pues, además de la forma circular, encontramos en el mercado, como más comunes, instrumentos rectangulares, cuadrados y en forma de sector circular. La forma externa, empero, no influye en la calidad.



Fotografías de instrumentos: circular, cuadrado y rectangular. Son los tipos más comunes en el mercado.

La aparición de nuevas materias ha permitido que los fabricantes las adoptasen en sus instrumentos cuando de su aplicación no se deriven perturbaciones de orden técnico. Por ejemplo, es ya corriente ver instrumentos cuyo frontis queda cubierto totalmente por una pieza o tapa de plástico transparente. Se gana en visibilidad, puesto que para trazar la esfera graduada puede aprovecharse toda la superficie. Sin embargo, merma la solidez del aparato, punto a tener muy en cuenta dado el elevado precio que tiene un instrumento de medida de precisión aceptable.

CLASIFICACION DE LOS INSTRUMENTOS

Es evidente que puede establecerse una primera clasificación al considerar el tipo de magnitud que pueden medir. De ahí, la denominación de amperímetros, voltímetros, vatímetros, óhmetros, capacímetros, frecuencímetros, etc., según se trate de instrumentos para medir amperajes, voltajes, vatajes, valores óhmicos, capacidades, frecuencias, etc.

Pero, como veremos más adelante, un mismo instrumento puede ser apto para medir magnitudes distintas. En general, la utilidad del instrumento depende de su constitución interna; de la naturaleza del mecanismo excitado por la corriente cuya intensidad, voltaje, potencia, resistencia que encuentra a su paso, etc., pretendemos medir. Esto es lo que desde un punto de vista téc-

nico diferencia los instrumentos de medida: su sistema eléctrico de desviación de la aguja. En este sentido podemos hablar de una real clasificación, ya que con ella se distinguirá una particularidad técnica.

Los instrumentos de medida se dividen en:
Instrumentos de bobina móvil e imán fijo.
— Instrumentos de hierro móvil o electromagnéticos.
— Instrumentos electrodinámicos.
— Instrumentos de inducción.
— Instrumentos térmicos.
— Instrumentos electrostáticos.
— Instrumentos electrónicos.

INSTRUMENTOS DE BOBINA MOVIL

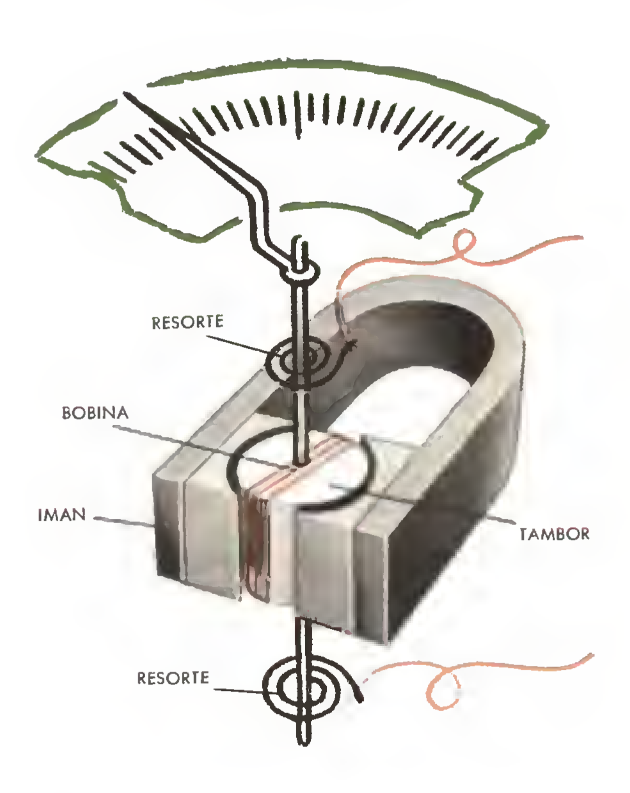
El mecanismo de estos instrumentos se fundamenta en el conocido fenómeno del desplazamiento que sufre un conductor inmerso en un campo magnético, cuando por dicho conductor circula una corriente.

Sabemos que el sentido del desplazamiento depende del sentido de la corriente y que dicho desplazamiento (o la fuerza que lo motiva) está en razón directa de la intensidad de la corriente.

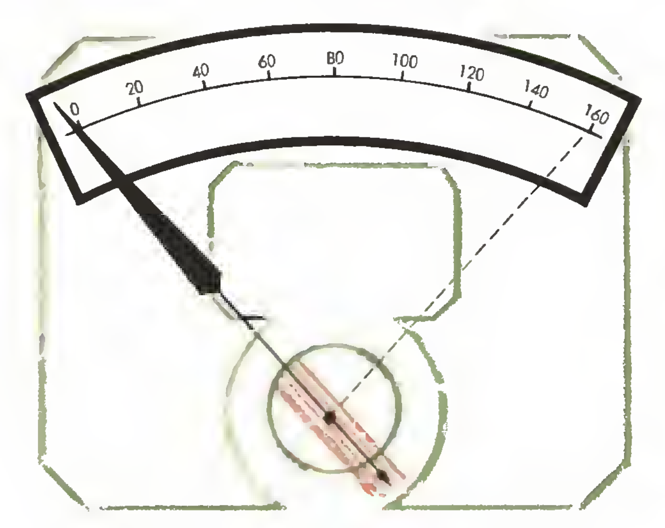
Veamos cómo se aprovecha este fenómeno en electrometría, fenómeno en el cual se fundan los principales sistemas de medición por lecturas directas.

Sin duda, el tipo de instrumento más empleado es el llamado de bobina móvil o de cuadro móvil.

Su mecanismo está formado por un imán permanente cuyos polos, enfrentados, dibujan una circunferencia perfecta. En coincidencia absoluta con el centro de esta circunferencia, determinada por los polos del imán permanente, gira un tambor metálico sobre el que se ha devanado un número calculado de espiras en el sentido del eje. Esta bobina, de forma rectangular, justifica el nombre de cuadro móvil con que se conocen los instrumentos de este tipo.



Dibujo demostrativo de la forma constructiva convencional de un instrumento de cuadro móvil.



Representación esquemática de un instrumento de cuadro móvil.



Fotografía del interior de un instrumento de cuadro móvil.

El eje del tambor constituye el centro de giro de la aguja del instrumento, solidaria a él. Sobre el citado eje se fijan dos resortes en espiral, enrollados en sentidos opuestos, que generalmente son de bronce fosforoso. Dichos resortes constituyen los terminales de la bobina; y al mismo tiempo sirven de amortiguadores que evitan los desplazamientos bruscos de la aguja y la mantienen sobre el punto cero cuando el instrumento está desconectado.

Estos aparatos se conocen con el nombre de instrumentos Deprez y D'Arsonval, que fueron los primeros que los utilizaron para medir intensidades.

La intensidad de la corriente que atraviesa la bobina móvil, en efecto, es proporcional a la desviación de la aguja. Se cumple que $I = K \times \alpha$.

En esta igualdad, el factor α representa la abertura del ángulo descrito por la aguja; K es un factor de proporcionalidad, que depende exclusivamente de la construcción del instrumento y que se conoce con el nombre de CONSTANTE DEL INSTRUMENTO.

Debido a la proporcionalidad entre la intensidad y la desviación, la escala de estos instrumentos lleva una graduación uniforme (separación constante entre las señales), lo que facilita de modo extraordinario las lecturas. Son, pues, instrumentos cuyo sistema es adecuado para medidas de precisión.

Se comprende, empero, que se trata de instrumentos sólo aptos para la medición de corrientes continuas, puesto que el sentido de la desviación de la aguja arrastrada por el desplazamiento de la bobina depende del sentido de la corriente que la atraviesa. Si cambia la polaridad, el desplazamiento será opuesto al anterior, lo cual, con c.a., daría lugar a continuas oscilaciones de la aguja.

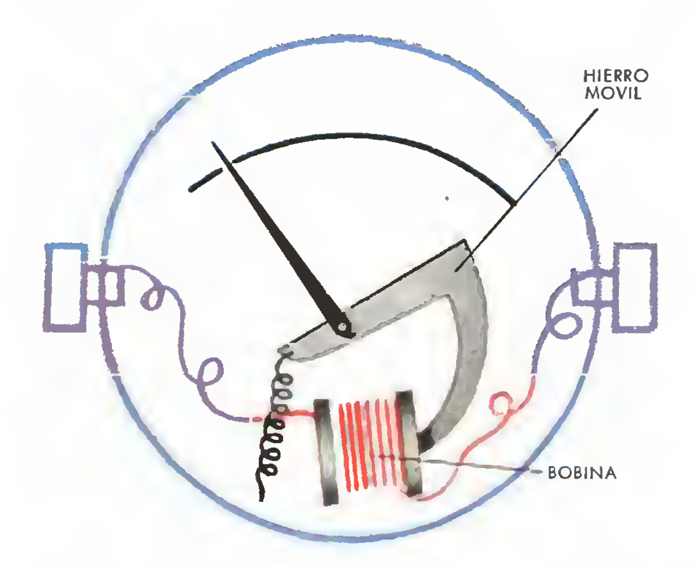
Sin embargo, ya veremos cómo, por medio de circuitos especiales, estos instrumentos pueden utilizarse también para medir corrientes alternas. Mejor dicho: veremos cómo una corriente alterna rectificada (convertida en continua) afecta al instrumento, el cual da entonces el valor eficaz de la magnitud medida.

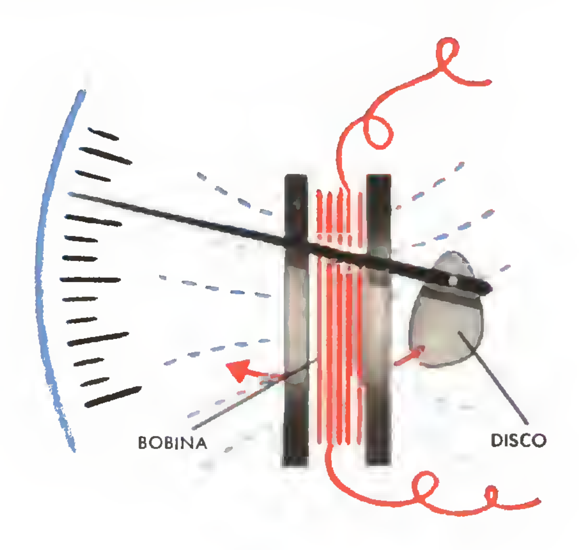
INSTRUMENTOS DEL HIERRO MOVIL

El principio de estos aparatos se encuentra en los efectos magnéticos que proporciona una bobina cuando por ella circula una corriente.

Dentro de este grupo de instrumentos encontramos matices distintos, modelos que presentan pequeñas diferencias en su construcción, pero que fundamentalmente constan de los siguientes elementos:

Una bobina y una pieza de hierro, que gira sobre un eje, excéntrica y solidaria a la aguja del aparato. Cuando la corriente a medir atraviesa la bobina, ésta adquiere propiedades de imán, con lo que atrae la pieza metálica y la hace girar sobre su eje; en el giro arrastra la aguja, que describe un arco tanto mayor cuanto más intensa sea la corriente que se aplique a la bobina.





He ahí dos dibujos esquemáticos de las estructuras mas comunes de los instrumentos de hierro móvil.

Dentro de la familia de los instrumentos de hierro móvil también encontramos otro sistema, de cuya construcción da una clara idea su oportuna representación gráfica. Se trata de un mecanismo formado de la inevitable bobina, por cuyo eje geométrico se hace pasar el árbol que arrastra la aguja. Sujeta a este árbol móvil, y en la zona cubierta por el interior de la bobina, se halla una lámina de hierro (es el aspa móvil) que se ve arrastrada por el campo magnético creado en la bobina por la corriente a medir.

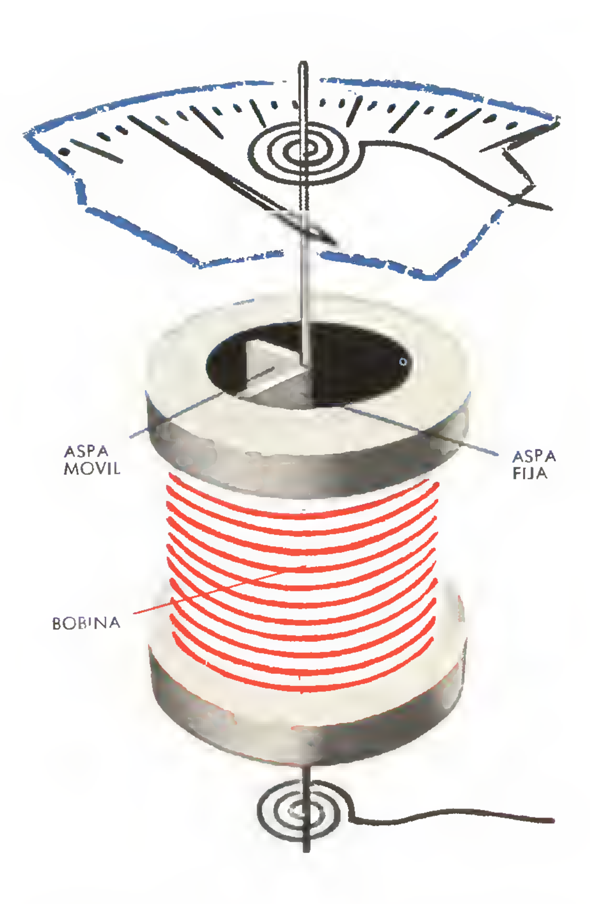
El giro del aspa móvil queda limitado por otra aspa fijada al carrete de la bobina. Cuando ambas están superpuestas la aguja debe coincidir con la señal cero.

En estos instrumentos, la escala no es uniforme; pero debido a que las virtudes magnéticas de la bobina no dependen del sentido de la corriente, resulta que tanto pueden medir corrientes continuas como corrientes alternas.

La sensibilidad de estos instrumentos — o sea, su capacidad de acusar intensidades muy pequeñas — es muy inferior a la que puede conseguirse por el procedimiento de la bobina móvil.

Por otra parte, son sensibles a los campos magnéticos, lo cual no los hace aconsejables en instalaciones cercanas a grandes masas férricas o a líneas de transporte para elevadas tensiones.

En resumen, diremos que se trata de instrumentos de menor precisión, de montaje sencillo y, en consecuencia, de precio muy inferior al de los instrumentos de cuadro móvil, por cuyo motivo son muy empleados en cuadros de control y para medidas que no requieran gran exactitud.



Dibujo esquemático de un instrumento con aspa móvil.

Fotografías del exterior e interior de un sencillo instrumento de hierro móvil que se ajusta al primer esquema de la página anterior.





INSTRUMENTOS ELECTRODINAMICOS

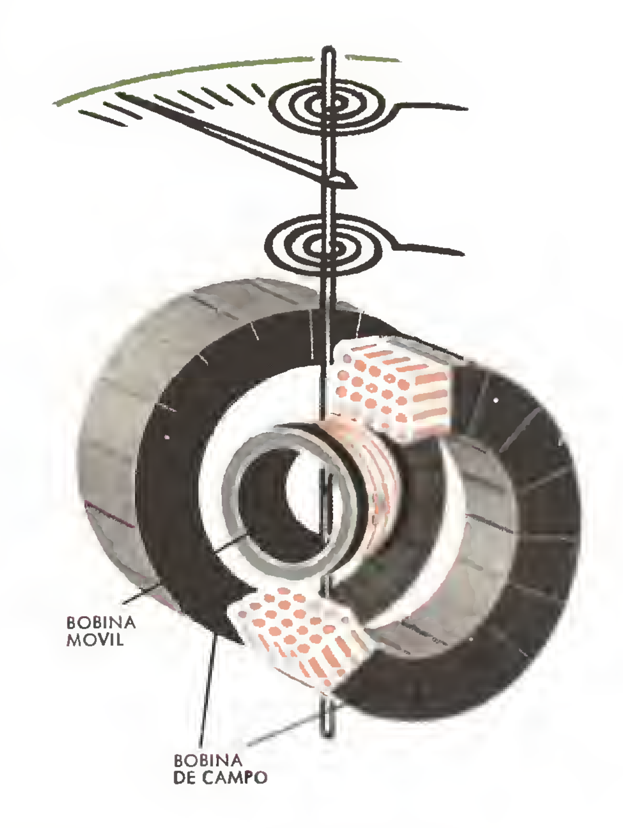
En este apartado nos separamos ya del tipo de instrumentos de aplicación común en el campo de la electricidad. Pero ello no quiere decir que los sistemas que siguen carezcan de interés; se trata simplemente de instrumentos cuyas aplicaciones específicas se encuentran limitadas por los márgenes que señalan unas especiales condiciones técnicas.

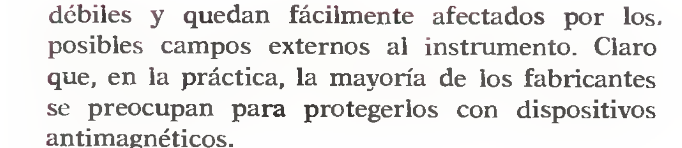
El primer tipo que debemos considerar es el electrodinámico, que en su aspecto técnico es una variante del instrumento de cuadro móvil. Mientras en éste el campo magnético está creado por un imán permanente, en los electrodinámicos se obtiene por medio de dos bobinas que forman un electroimán y que pueden conectarse en serie con la bobina móvil.

Esta conexión hace que el instrumento sea adecuado para corriente continua y alterna, ya que si bien con c.a. la polaridad de las bobinas fijas o bobinas de campo varía en cada semiperíodo, también se invierte en la bobina móvil. Por tanto, el efecto del par de fuerzas es siempre un giro en el mismo sentido.

Este sistema requiere una escala no uniforme cuando se trata de medir intensidades y tensiones, por lo que raramente se emplean para estos fines. En cambio, la escala de potencias tiene total uniformidad, razón por la que los instrumentos electrodinámicos se aplican de modo específico para la medición de potencias.

Los campos magnéticos de las bobinas, lo mismo que en los instrumentos de hierro móvil, son





débiles y quedan fácilmente afectados por los posibles campos externos al instrumento. Claro que, en la práctica, la mayoría de los fabricantes se preocupan para protegerlos con dispositivos antimagnéticos.

INSTRUMENTOS DE INDUCCION

Daremos una breve noticia sobre estos aparatos de medida, muy poco usados y que, por actuar por efectos de inducción electromagnética, sólo pueden aplicarse a la medición de corrientes alternas.

En síntesis están formados por un disco o tambor al que está unida la aguja indicadora. Este disco queda enfrentado a dos o tres campos magnéticos (producidos por una corriente alterna monofásica o trifásica respectivamente); campos que inducen sobre el elemento giratorio sendas corrientes que motivan el par de fuerzas capaces de moverlo a tenor de la mayor o menor intensidad de los campos.

Los instrumentos de inducción tienen una gran sensibilidad frente a las variaciones de frecuencia y temperatura.

En la práctica, lo hemos dicho, se emplean muy poco; casi en exclusiva para la medición de potencias en contadores.

INSTRUMENTOS TERMICOS

El principio de estos aparatos se inspira en algo muy simple: saber que el paso de una corriente a través de un conductor produce un aumento de su temperatura, lo que se traduce en una dilatación de aquél.

Por un sistema teóricamente muy sencillo se consigue que la aguja acuse la dilatación del hilo conductor. Creemos que el gráfico correspondiente a este apartado es lo bastante elocuente como para que sea superfluo añadir nada más.

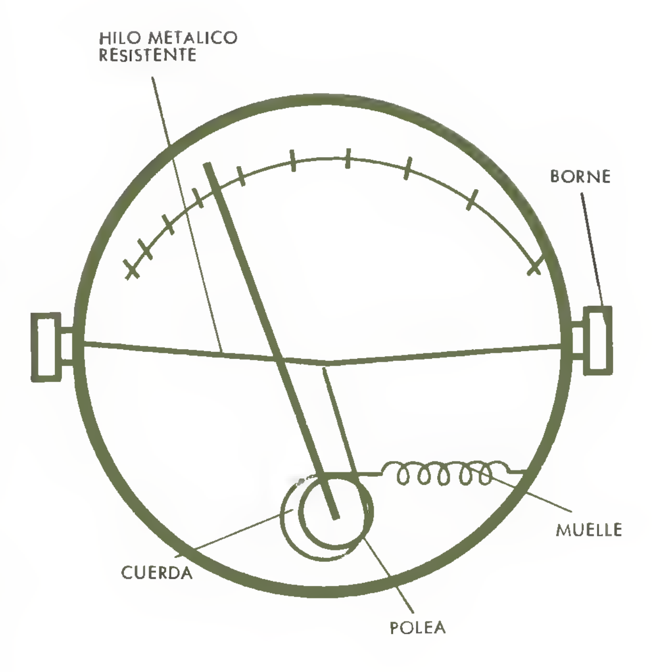
Como, según la ley de Joule, la temperatura del hilo, y por lo tanto su dilatación, aumentan según el cuadrado de la intensidad de la corriente que pasa por él (recuerde que $Q = 0'243^2 \times R$), la escala de estos instrumentos es irregular: las primeras divisiones están mucho más juntas que las últimas, cosa que dificulta muchísimo la lectura de las intensidades débiles.

Son instrumentos para corriente continua y alterna (basta una sola escala), insensibles a los efectos de los campos magnéticos.

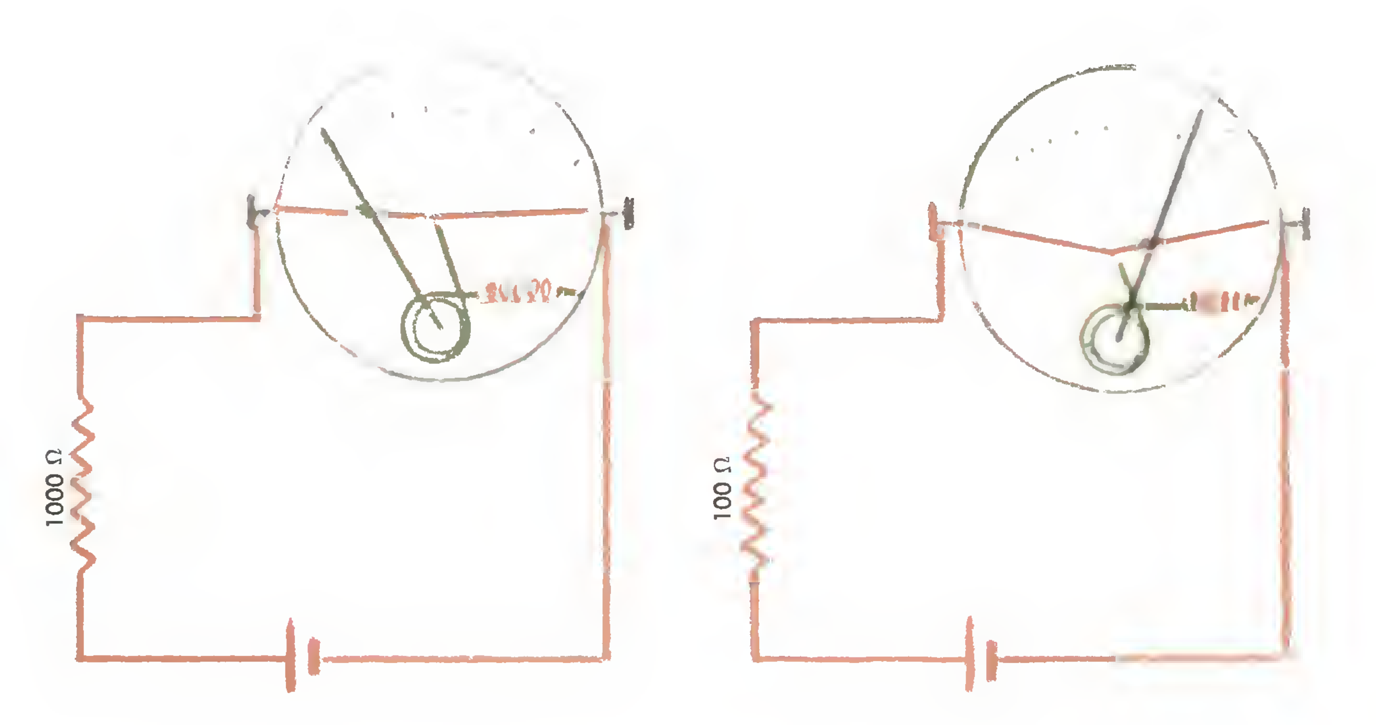
Se emplean principalmente para corrientes de alta frecuencia.

Para evitar en lo posible la influencia de la temperatura exterior sobre el hilo resistente, que en los instrumentos de buena calidad es de platino-iridio, se equipan con dispositivos correctores de temperatura.

Al cabo de cierto tiempo de funcionar estos instrumentos, pierden en exactitud, consecuencia de los efectos del recalentamiento que constantemente actúa sobre ellos. Además, son delicados en grado sumo y requieren especial cuidado, sobre todo en el sentido de no someterlos jamás a un exceso de corriente que podría fundir el hilo térmico.



Representación esquemática de un instrumento térmico.



La dilatación del hilo resistente depende de la intensidad que por él circule.



Aspecto exterior de un miliamperímetro térmico. Observe la escala, muy irregular, sobre todo en sus primeras divisiones.

INSTRUMENTOS ELECTRONICOS

He ahí otro sistema, que se emplea en unos instrumentos cuya aplicación tiene un campo muy reducido. Concretamente, sirven para medir tensiones, con preferencia cuando son superiores a 1000 voltios.

Actúan según el principio de Coulomb, o ley de atracción y repulsión de cargas. Se trata, en resumen, de conseguir que dos conductores, que se atraen o repelen debido a la carga eléctrica que hayan adquirido, arrastren la aguja indicadora.

INSTRUMENTOS ELECTROSTATICOS

Cerramos esta descripción sobre la naturaleza de los instrumentos de medición mencionando la existencia de aparatos de medida que actúan con el concurso de circuitos electrónicos, donde se aprovechan las propiedades rectificadoras y amplificadoras de las válvulas termoiónicas.

Estos ingenios son útiles en especial para la medición de magnitudes muy pequeñas. En realidad no es el instrumento en sí (que acostumbra ser un instrumento de cuadro móvil) lo que permite las micromedidas, sino el circuito electrónico a él conectado.

Estos aparatos tienen la ventaja de no absorber prácticamente ninguna parte de la corriente que se trata de medir. Se utilizan casi en exclusiva en laboratorios electrónicos y trabajos de investigación en general.

Son aparatos muy complejos y de alto precio, que no estudiaremos con mayor amplitud por considerar que no forman parte de los temas propios de un Tratado de electricidad.

Por su misma naturaleza, estos instrumentos deben quedar protegidos de los campos electrostáticos.

Existe una serie de instrumentos indicadores de tensión, fundados en el mismo principio, cuya misión no es una medición concreta, sino la simple indicación de la existencia o no existencia de tensión en una línea, dato importante sobre todo en líneas de alta tensión.



CLASES DE INSTRUMENTOS SEGUN EL PORCENTAJE DE EXACTITUD

La elección del instrumento idóneo para efectuar una determinada medición se halla supeditada al grado de precisión con que deba ser conocido el valor que se mide, y que depende a su vez del tipo de trabajo.

En términos profesionales, la exactitud de un instrumento determina la clase del mismo. Así, los aparatos de medida aplicables a los menesteres electrométricos de laboratorios industriales son generalmente de clase 0'25 o de clase 0'1. Con esta denominación se definen instrumentos cuyo error de medición es, como máximo del 0'25 por 100 o del 0'1 por 100.

Así, pues, si con un instrumento de clase 0'25 efectuamos una lectura de 100 V, sabemos que la tensión real existente entre los dos puntos experimentados no será superior a 100 + 0'25 ni inferior a 100 — 0'25 voltios.

En mediciones normales, de cuya exactitud o falta de exactitud no se derivan consecuencias considerables, bastan instrumentos de clase 2'5 por 100.

AGUJAS

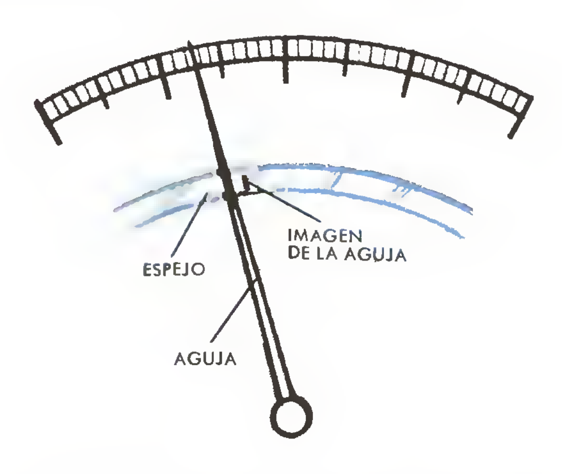
Parte de la exactitud de la lectura depende de la forma de la aguja del aparato y de la calidad de su mecanizado. Según el tipo de aparato, la forma de su aguja será una u otra; y entre las varias experimentadas por los industriales del ramo, han quedado tres como más características: de lanza, de cuchilla y angular.

Las agujas de lanza se aplican a los instrumentos destinados a proporcionar lecturas visibles a distancia.

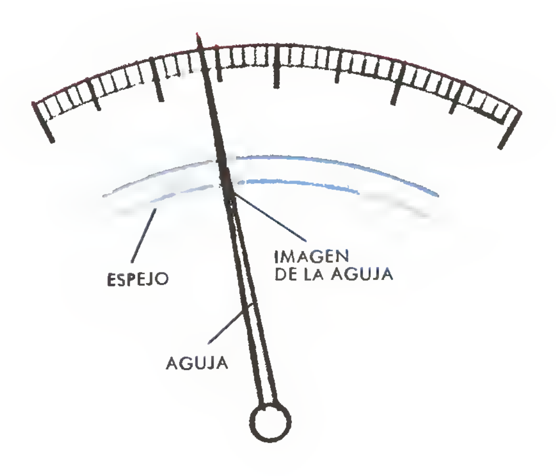
Los otros tipos se destinan a instrumentos de mayor precisión, en los cuales la lectura debe hacerse desde muy corta distancia.

Para evitar los errores de apreciación debidos a la paralaje (cuando la lectura se efectúa oblicuamente al plano de la aguja) se recurre a la colocación de un espejo que refleja la imagen de la aguja. La lectura debe efectuarse de forma que la aguja y su imagen se confundan en una sola línea, señal evidente de que se mira perpendicularmente a la superficie de la escala.

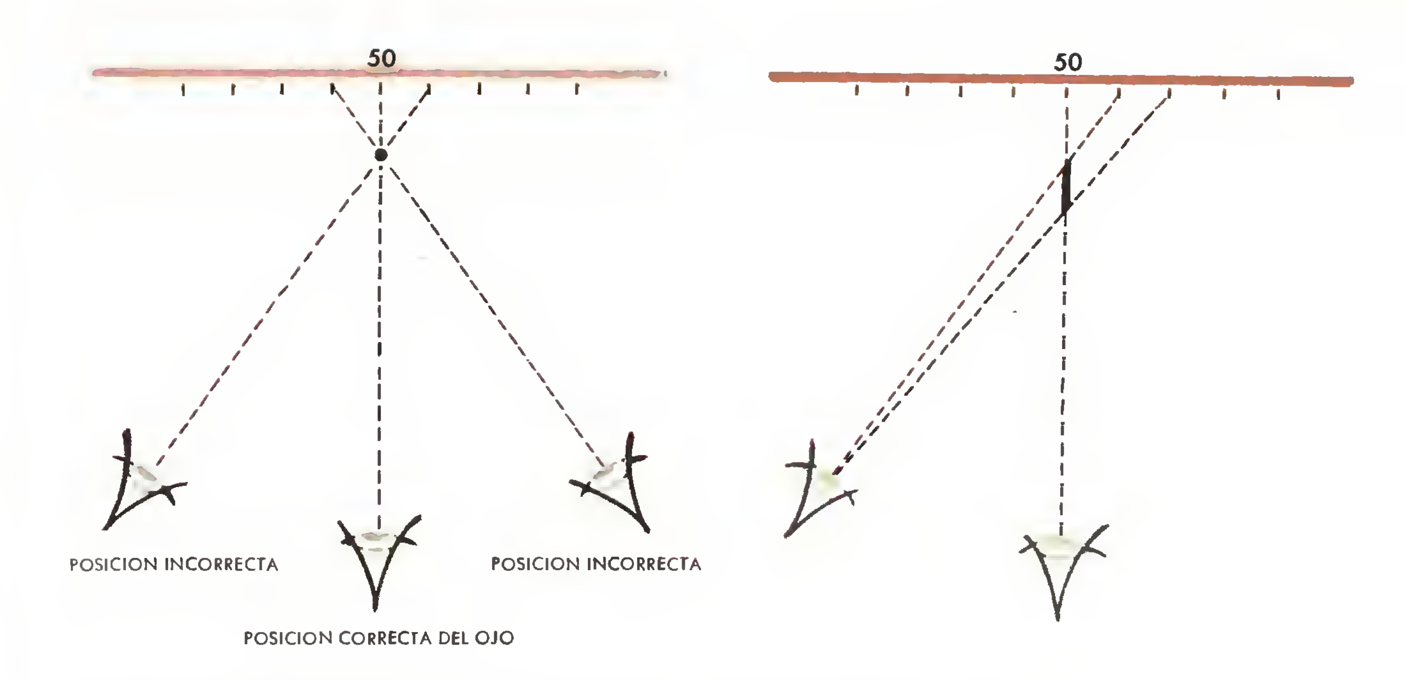




Para aumentar la fidelidad de la lectura se recurre a un espejo situado debajo de la aguja.



La lectura será correcta cuando la aguja y su imagen queden superpuestas. No veremos la imagen.

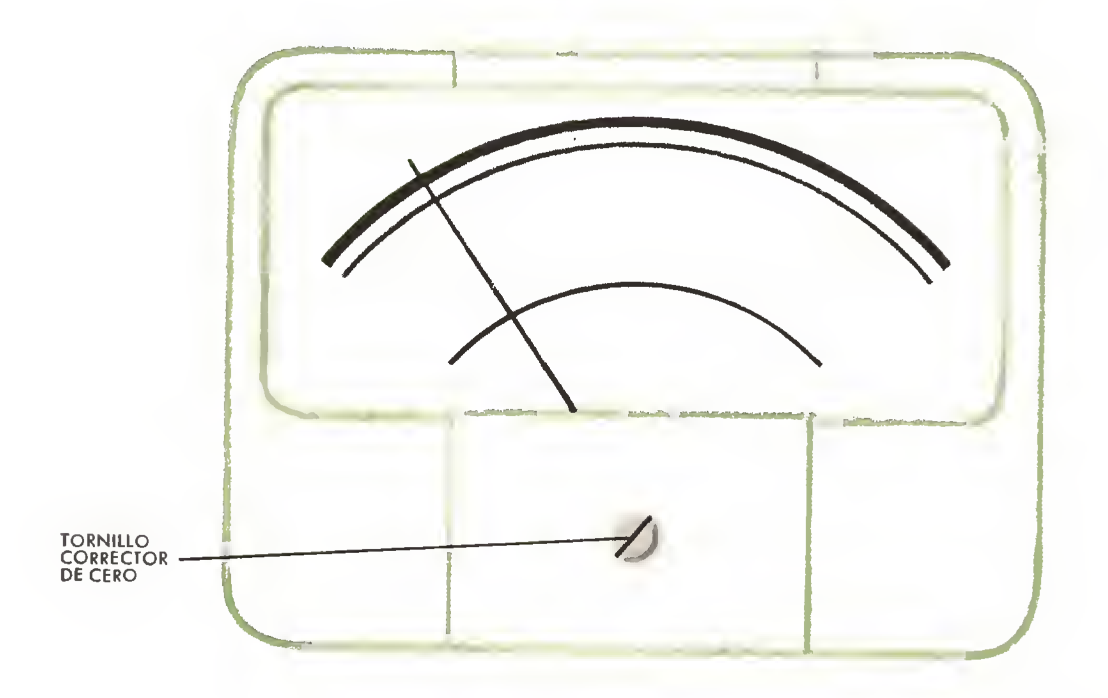


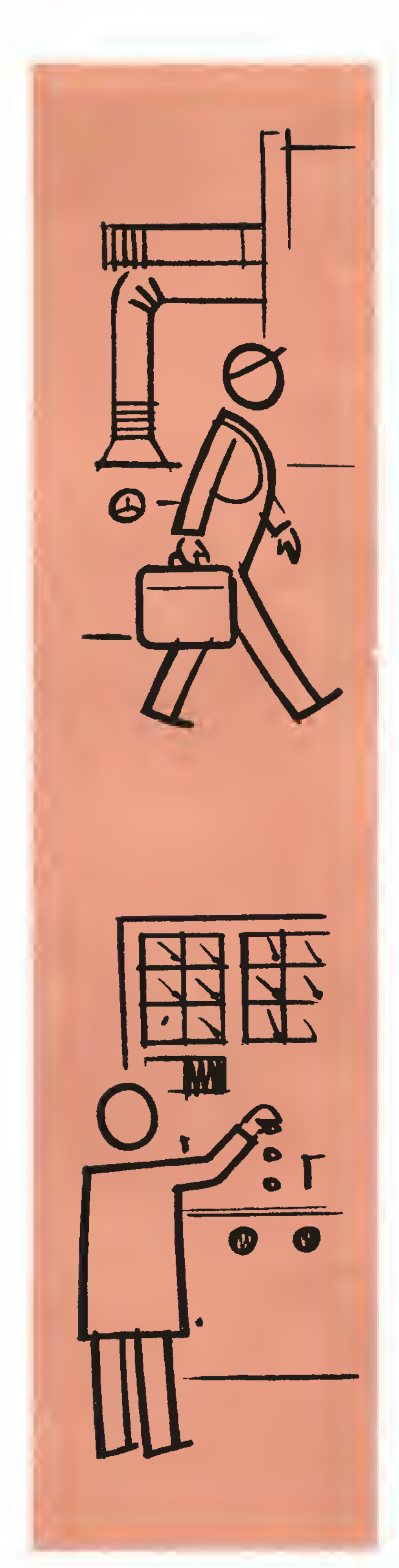
En estos dos gráficos se demuestra la utilidad de una aguja de cuchilla. Cuando la mirada no es perpendicular al plano de la esfera, veremos un cierto grueso de la aguja. Con mirada frontal, la aguja se convierte en una línea.

CORRECTOR DE CERO

Para terminar este estudio descriptivo, que nos ha servido de puerta de acceso a la electrometría, citemos la presencia en la mayoría de instrumentos del dispositivo de corrección de cero, absolutamente necesarios para obtener mediciones correctas.

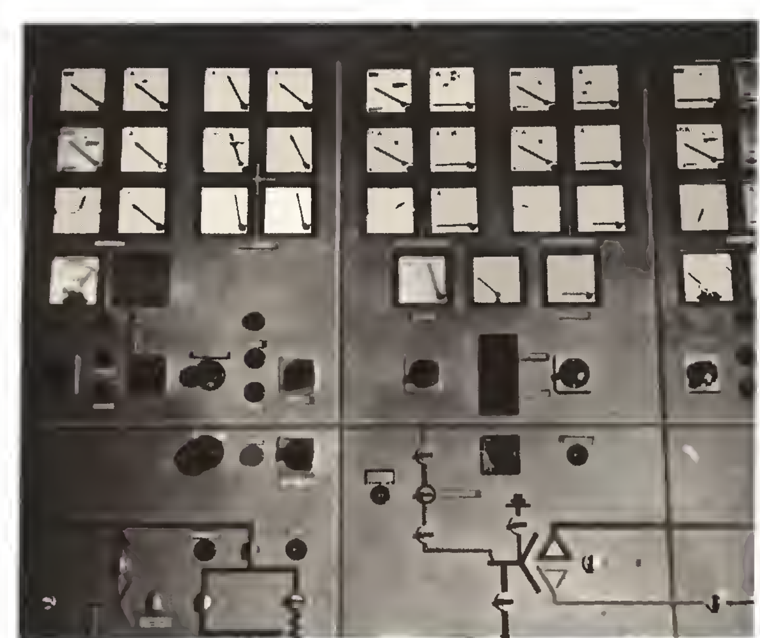
Se trata de un tornillo accesible desde el exterior y relacionado, en el interior del aparato, con el eje de giro de la aguja. Accionando este tornillo corrector de cero puede llevarse la aguja a derecha e izquierda para que coincida exactamente con la señal cero de la esfera.







PORTATILES

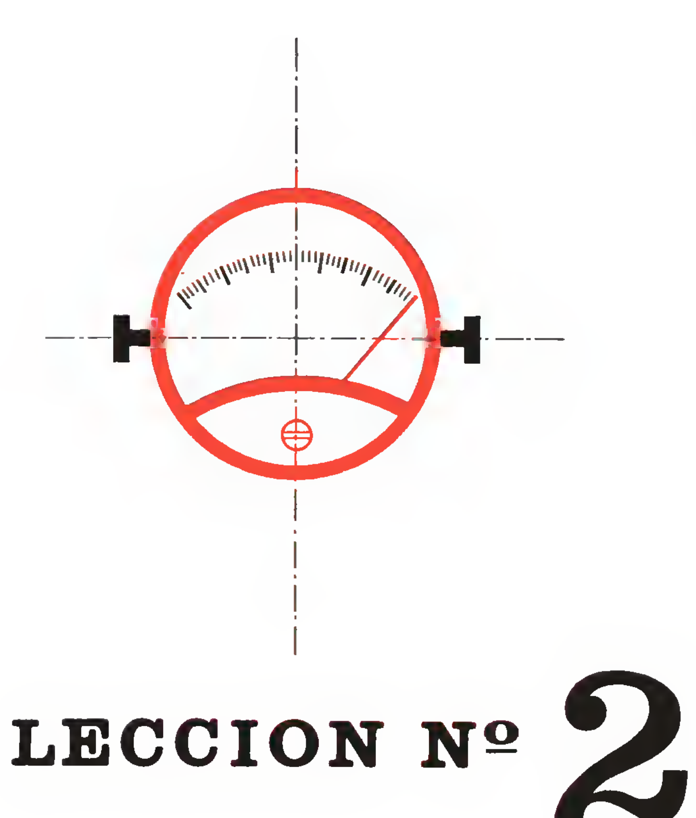


FIJOS

Conjunto de amperímetro, vatímetro, y voltímetro, incluidos en una maleta portátil. y paneles de control con instrumentos fijos.

ELECTROMETRIA

Métodos de medida
Aparatos más usados en c. c.
Miliamperímetros y milivoltímetros
Shunts



LECCION Nº 2



2

METODOS DE MEDIDAS MAS CORRIENTES

METODO DE DESVIACION

Este método está basado en los efectos electromagnéticos, magnéticos, electrostáticos, térmicos, luminosos o químicos de las magnitudes eléctricas a medir.

Este sistema utiliza la lectura directa sobre la escala graduada de un aparato de aguja o de índice luminoso. El error de la magnitud leída se halla comprendido entre 0'2 a 3 % y puede reducirse al 0'1 % con aparatos de construcción muy cuidada. La longitud de la escala tendrá que ser de 150 mm como mínimo para aparatos de aguja sin sistema especial de lectura.

METODO DE COMPARACION

Este método utiliza el sistema de desviación para comprobar la igualdad de dos magnitudes, ya sea por simple sustitución (dos corrientes que se hacen pasar a través del aparato) o ya sea después de haber transformado o reducido una de ellas (comparación de dos corrientes enviadas a los arrollamientos de un galvanómetro diferencial con un número de espiras distinto). El error de medida puede ser inferior al 0'1 % para las desviaciones del orden de 150 mm.

METODO DE OPOSICION

Consiste en anular el efecto de la magnitud medida por un efecto de la misma naturaleza, pero cuantitativamente conocido. Por ejemplo, el puente de Wheatstone, en el que se oponen dos caídas de tensión a través de un galvanómetro.

El error de medida se encuentra determinado principalmente por la precisión del tarado (con patrones) de los elementos de comparación empleados en el proceso de medición, que pueden ser, por ejemplo, resistencias

METODOS ABSOLUTOS

Son poco utilizados en la industria y necesitan aparatos auxiliares no graduados. La magnitud a medir se expresa en función de las magnitudes fundamentales: longitud, masa, tiempo y magnitudes sin dimensión: número de espiras, etcétera. Pongamos un ejemplo: la atracción entre un plato fijo y uno móvil, llevados a potenciales distintos, puede ser equilibrada por un peso cuyo valor sea conocido. Con este valor, las dimensiones geométricas de los platos y la distancia que los separa se determina la diferencia de potencial entre ellos.

INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS. PAPEL DEL OPERADOR

Las condiciones esenciales de una medición correcta son las siguientes:

1. Definición exacta de la magnitud a medir. Conviene tener siempre en cuenta que la medición se realiza en un espacio perturbado por las acciones secundarias. Estas son debidas principalmente a los factores siguientes: temperatura, humedad atmosférica del suelo o de los objetos próximos, comprendido el operador; campo magnético terrestre, así como los campos de todas

clases, continuos o alternos, producidos por la proximidad de instalaciones eléctricas; parásitos de todas clases y duración de la medición. Si se trata de características de materiales, la composición química debe ser conocida con seguridad en vistas a la interpretación correcta de los resultados experimentados.

Para los aparatos que contienen hierro (bobinas, transformadores, máquinas giratorias, etc.) la incógnita debe tener un significado físico claro. Es, por tanto, absurdo hablar de la inductancia propia del primario de un transformador sin indicar la frecuencia, amplitud o valor eficaz de la tensión alterna aplicada; cuándo es senoidal (la forma de onda en caso contrario), así como el estado inicial del circuito magnético.

2. Juiciosa elección de los aparatos de medida y accesorios. Esta elección implica, sin duda alguna, un conocimiento minucioso de sus posibilidades en los casos de empleo más diversos, con objeto de preparar el ensayo en las mejores condiciones de estabilidad y sensibilidad. Conviene, además, someter cada aparato a cierto número de ensayos, especialmente en el campo de las medidas en que se pretende usarlo.

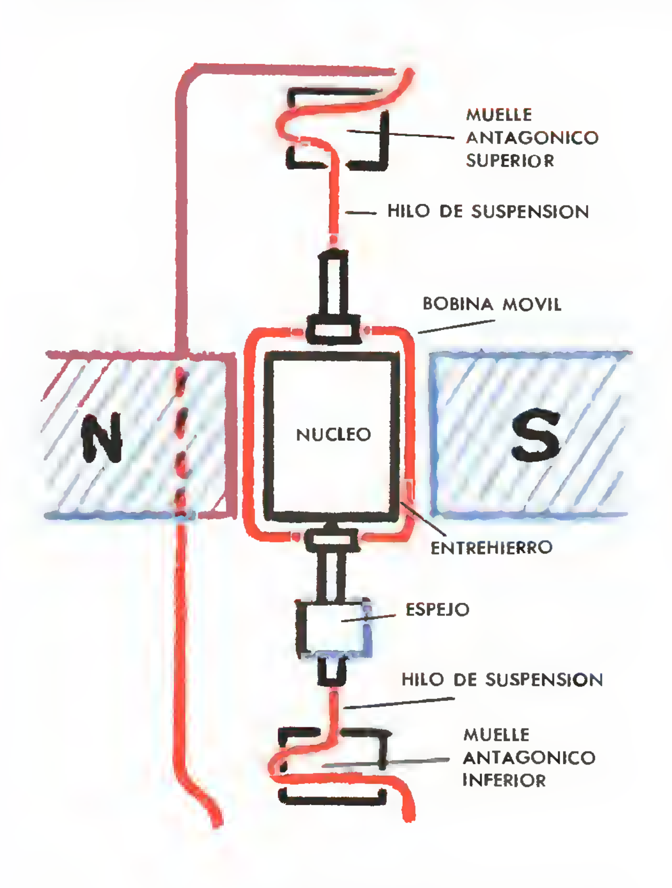
3. Habilidad del operador. Es necesaria esta habilidad para ejecutar correctamente las maniobras exigidas, como por ejemplo lecturas, regulaciones diversas, etc.

4. Realización correcta del montaje. Para realizar un montaje correcto se necesita lo siguiente: buenos contactos, aparatos de maniobra colocados al alcance de la mano, eliminación de las fugas y de las acciones parásitas inductivas o capacitivas entre los elementos de montaje o entre éstos y el operador.

5. Repetición de las medidas. La repetición se efectúa con parámetros auxiliares diferentes.

Además de todas estas recomendaciones que hemos expuesto, es imprescindible que, durante la medición, las condiciones de funcionamiento para los aparatos sean las normales.

MEDICIONES EN CORRIENTE CONTINUA. APARATOS DE MEDIDA DE USO FRECUENTE



Esquema de un galvanómetro de bobina móvil para un aparato óptico.

Galvanómetro de cuadro (bobina móvil) o de Arsonval

Por lo dicho en nuestra primera lección sobre medidas eléctricas (electrometría) tenemos una primera idea de la forma y funcionamiento de los instrumentos de bobina móvil. Son, sin duda, los galvanómetros más utilizados; y por esta misma razón, vale la pena que los conozcamos más a fondo.

El galvanómetro de cuadro se basa en la utilización de las fuerzas que actúan sobre un conductor recorrido por una corriente eléctrica que se halla situado en un campo magnético. Los aparatos de medida de bobina móvil sólo resultan indicados para efectuar mediciones en corriente continua. En el momento de pasar por la bobina, la corriente produce sobre el eje un par proporcional a la intensidad. La aguja del instrumento se desvía hasta que el par antagónico (originado por los muelles en espiral) equilibra al par eléctrico. En la práctica cabe decir que el conductor no es más que una bobina móvil suspendida en un campo magnético.

La figura que ofrecemos a continuación es la sección esquemática de un galvanómetro del tipo indicado.

Los imanes utilizados en la construcción de galvanómetros deben tener, ante todo, una gran es-

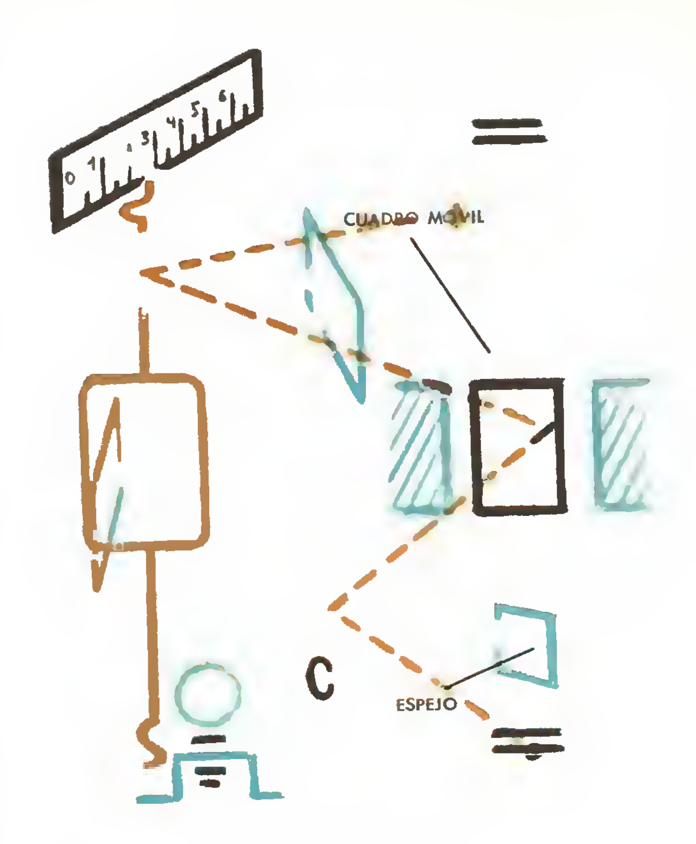
tabilidad en relación a las variaciones de temperatura, así como un insignificante envejecimiento. En el entrehierro, el campo debe ser radial y lo más constante posible.

El cuadro o bobina queda suspendido en el campo magnético por un hilo de bronce fosforoso tensado. El hilo superior se suelda a un pequeño resorte en espiral o bien a una lámina resorte de tensión convenientemente regulada. Esta tensión es de mucha importancia para la sensibilidad y proporcionalidad del aparato. Conviene añadir que este dispositivo mantiene la bobina perfectamente centrada en el entrehierro, aunque el aparato esté inclinado. El resorte, además, desempeña el papel de amortiguador de vibraciones y golpes.

Los galvanómetros llevan también un botón de puesta a cero por torsión del hilo superior; y los de precisión, un dispositivo de bloqueo con objeto de evitar averías durante el transporte del aparato.

Los dispositivos de lectura usados en la construcción de los galvanómetros son los siguientes: de escala y aguja o de escala y espejo.

Como hemos dicho antes, los galvanómetros utilizan para la lectura escalas graduadas y agujas o índices luminosos. A continuación presentamos muy esquemáticamente el equipo óptico de un galvanómetro de índice luminoso y su principio teórico.



Principio del galvanómetro óptico.

TORNILLO DE AJUSTE DE CERO
ESCALA GRADUADA
ESPEJO
LAMPARA
OPTICA
TORNILLOS PARA VARIAR LA POSICION DE LA LAMPARA Y OPTICA
TORNILLO PARA REGULAR LA POSICION DEL INDICE LUMINOSO EN LA ESCALA
EQUIPO GALVANOMETRO

Representación esquemática del equipo óptico de un galvanómetro a índice luminoso.

RECOMENDACIONES REFERENTES AL USO DEL GALVANOMETRO

1. Acostumbrarse a bloquear el galvanómetro después de usarlo y antes de cualquier traslado.

2. Guardar el galvanómetro a cubierto de las variaciones de temperatura bruscas y frecuentes.

3. Evitar la proximidad de imanes permanentes.

4. A ser posible, utilizar un soporte antivibratorio (conglomerado de corcho, fieltro, goma, montón de papel, etc.).

5. Conservar los bornes siempre limpios y libres de oxidaciones que puedan alterar la bondad de los contactos.

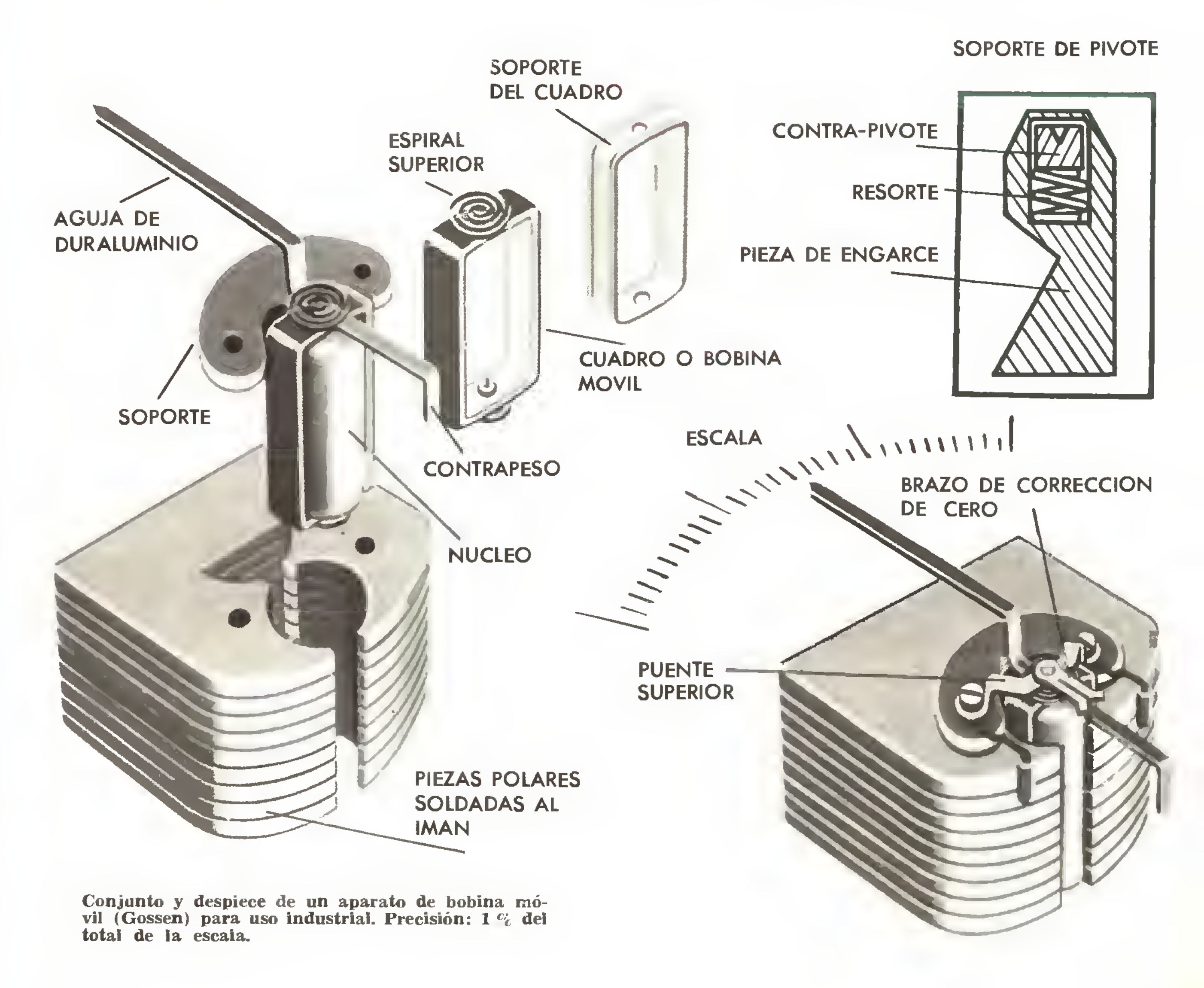
6. Al trabajar con el galvenómetro conviene asegurar un buen aislamiento entre el operador y el suelo.

7. No utilizar bornes auxiliares. En caso de ser necesario conviene comprobar que su aislamiento sea, como mínimo, de 100.000 Ω.

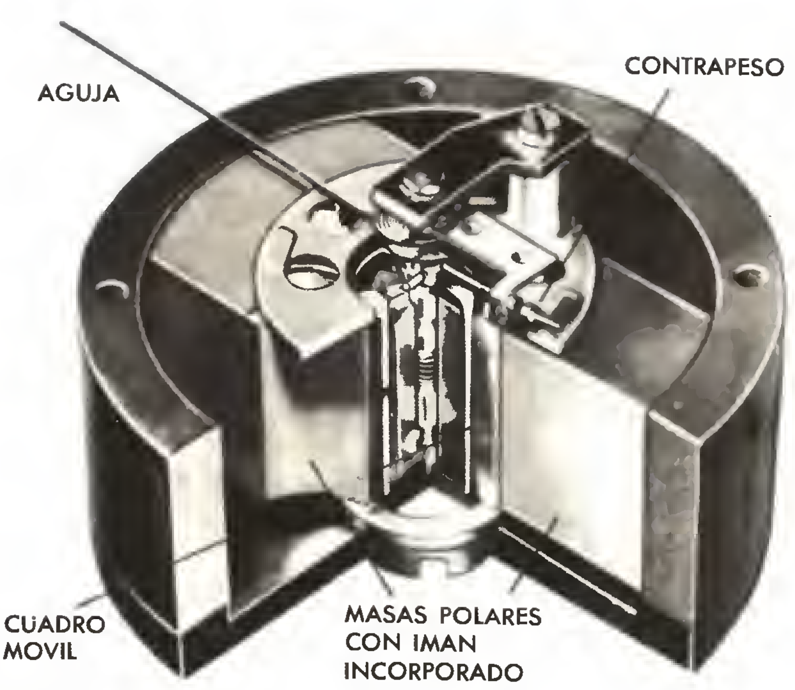
APARATOS DE MEDIDA DE BOBINA MOVIL A AGUJA

Estos aparatos de medida son galvanómetros de sólida construcción y poco sensibles debido al fuerte par antagónico de los muelles en espiral. La bobina móvil no queda suspendida, sino que pivota en dos cojinetes de rubí o de bronce fosforoso, en los de menor calidad.

El cuadro o bobina, en hilo de cobre, tiene un soporte generalmente de aluminio. Algunos aparatos prescinden del soporte y de esta manera mejoran sus propiedades mecánicas.



Conjunto y despiece de un aparato de bobina móvil (Gossen) para uso industrial. Precisión: 1 % del total de la escala.



Precisión: 0'2 % del total de la escala. Aparato de laboratorio AEG. Bobina móvil.

MICROAMPERIMETROS

Los microamperímetros se utilizan en los laboratorios, en la técnica de medición de las corrientes débiles, como aparatos de precisión media, tanto en la modalidad *sobremesa* como en los tipos empotrables. Son galvanómetros tarados de consumo siempre superior a los 200 µA por mV y que fácilmente pueden alcanzar los 1000 µA por mV en las construcciones corrientes. Un microamperímetro corriente de 50 µA tiene una caída de tensión de 1000/50 = 20 mV. Debemos decir que es posible construirlos con una caída de tensión de 4 ó 5 mV.

Si aumenta la temperatura, aumenta también la resistencia de la bobina o cuadro; pero a igual corriente no varía la desviación de la aguja ya que la variación de la superficie de las espiras es insignificante.

Para escoger un microamperímetro deben tenerse en cuenta las siguientes recomendaciones:

1. Si el aparato está destinado a funcionar en un circuito de varios millares de Ω es preferible un microamperímetro de pequeño calibre.
2. Para un circuito de resistencia dada es conveniente escoger un microamperímetro de resistencia similar a la del circuito.



Microamperímetro.

MILIVOLTIMETROS

Los milivoltímetros indican la diferencia de potencial entre dos puntos de un circuito. Estos aparatos deben consumir el mínimo de corriente posible. Entre dos aparatos de igual tipo será preferible el de menor consumo. Para dar a conocer el consumo de un milivoltímetro se indica, general-

mente, la resistencia en ohmios por voltio, que es la inversa del consumo en amperios.

Pongamos un ejemplo: para un milivoltímetro de 10 mV y una resistencia de 50 Ω, la resistencia en Ω/V es de 50/0'01 = 5000 Ω/V. El consumo es 0'01/50 = 0'2 mA. Este consumo corresponde a la desviación total de la escala.

Si un milivoltímetro, sometido a una diferencia de potencial constante, retrasa su aguja al aumentar la temperatura del cuadro o bobina, es preciso conectar una resistencia estabilizadora en serie con el aparato. Esta resistencia puede tener un valor similar a la del cuadro, pero generalmente este valor es de dos a tres veces la resistencia interna del aparato dato que, como vemos, es necesario conocer.

APARATOS DE VARIOS ALCANCES

Dado un milivoltímetro capaz de medir cierta tensión a fondo de escala, puede conseguirse un milivoltímetro de varios alcances. Para ello debemos estudiar el empleo de resistencias en serie. Si la desviación total de la aguja del aparato se obtiene con una corriente de intensidad conocida i, la resistencia a conectar en serie con la r_i (resistencia interna del aparato) será:

$$r = \left(\frac{V}{i}\right) - r_i$$

V es el valor de la máxima tensión que ahora podremos medir con el aparato.

Veamos el siguiente ejemplo: tenemos un milivoltímetro de 0-50 mV con una $r_i = 5000\ \Omega$. Su consumo es $i = 10\ \mu A$. La resistencia en Ω/mV es:

$$\frac{5000}{50} = 100\ \Omega/mV$$

Para que este molivoltímetro pase a ser de 0-750 mV, el valor de la resistencia a intercalar en serie con la r_i del aparato será la siguiente:

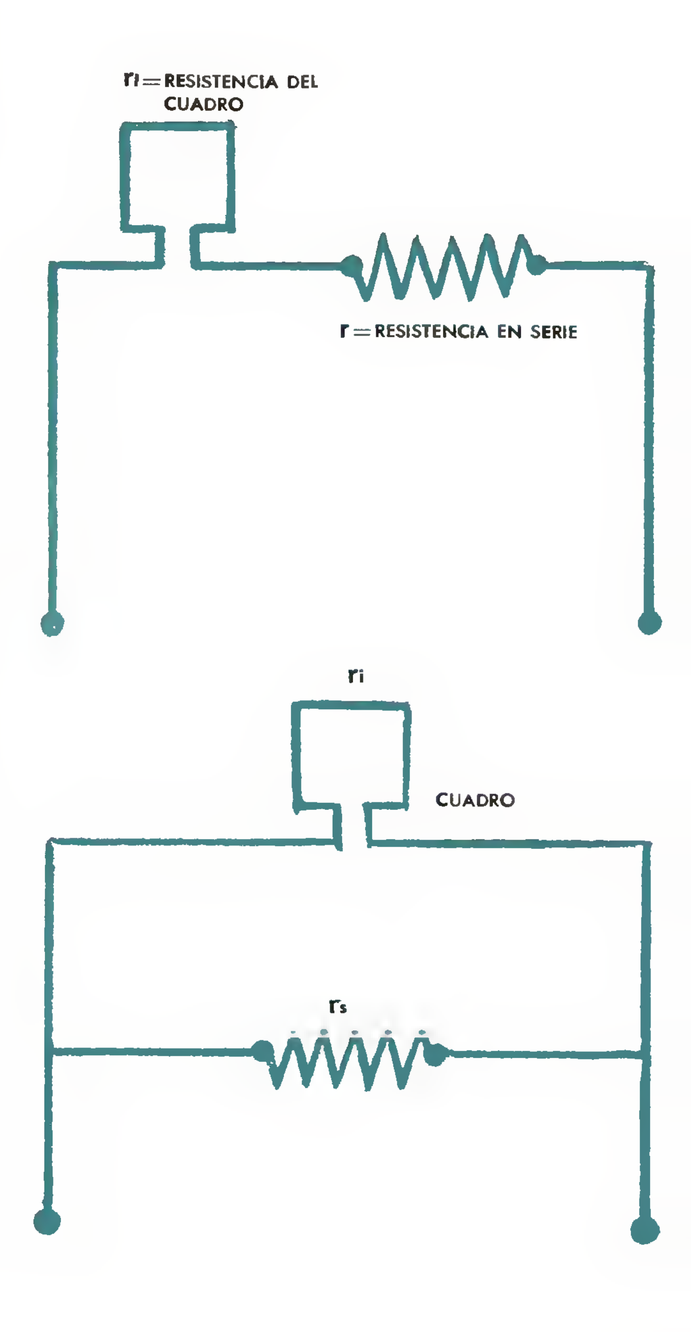
$$750 \times 100 - 5000 = 70000\ \Omega$$

Si el aparato es un microamperímetro de 0-10 μA puede aumentarse el alcance de la escala, a base de mantener la misma caída de tensión, utilizando *shunts* conectados a sus bornes. Un *shunt* no es otra cosa que una resistencia conectada en paralelo. Un *shunt* de resistencia r_s, conectado a los bornes del cuadro o bobina de resistencia r_i, tiene un poder multiplicador *m*, igual a $r_i + r_s/r_s$; de donde:

$$r_s = \frac{r_i}{m - 1}$$

Pongamos un ejemplo: sea un microamperímetro de alcance 0-10 μA; resistencia interna (o del cuadro) $r_i = 5000\ \Omega$. Deseamos que a fondo de escala nos señale una corriente de 500 μA. Para obtener el alcance 0-500 μA hay que conectarle en paralelo un *shunt* de poder multiplicador m = = 500/10 = 50. La resistencia de este *shunt* deberá ser:

$$r_s = \frac{r_i}{m - 1} = \frac{5000}{10 - 1} = \frac{5000}{49} = 102$$



Para escoger un milivoltímetro debe tenerse en cuenta que para un alcance dado es preferible el aparato de mayor resistencia interna.

MILIAMPERIMETROS

Los miliamperímetros son aparatos derivados de los milivoltímetros con la esfera graduada en miliamperios. Están provistos de *shunts* ordinarios o universales, además de una resistencia en serie para compensar el efecto de temperatura. La caída de tensión, es, generalmente, de 30, 100 ó 300 mV.

Llamamos SHUNT UNIVERSAL al que tiene varios alcances de medida, o sea, aquel *shunt* cuya resistencia puede variar a voluntad del operador.

El esquema que sigue representa un miliamperímetro con resistencia estabilizadora r_e y tres *shunts*. Los valores indicados, la resistencia interna del aparato, o sea, la resistencia del cuadro r_c más la resistencia estabilizadora en serie r^e para la compensación de temperatura r_{s1}, r_{s2}, r_{s3} las re sistencias en los bornes. Los poderes multiplicadores correspondientes a los bornes de utilización OA, OB, OC, etc., son m_1, m_2, m_3, etc. Entre estos valores tenemos:

$$r_{s1} + r_{s2} + r_{s3} = R_s$$

Llamamos R_s al valor de la resistencia de todos los *shunts*.

Por otra parte, el poder multiplicador de cada *shunt* será:

$$m_1 = \frac{r_i + R_s}{r_{s1}}; \; r_i + R_s = m_1 \times r_{s1}$$

$$m_2 = \frac{r_i + R_s}{r_{s1} + r_{s2}}; \; r_i + R_s = m_2 \; r_{s1} + r_{s2})$$

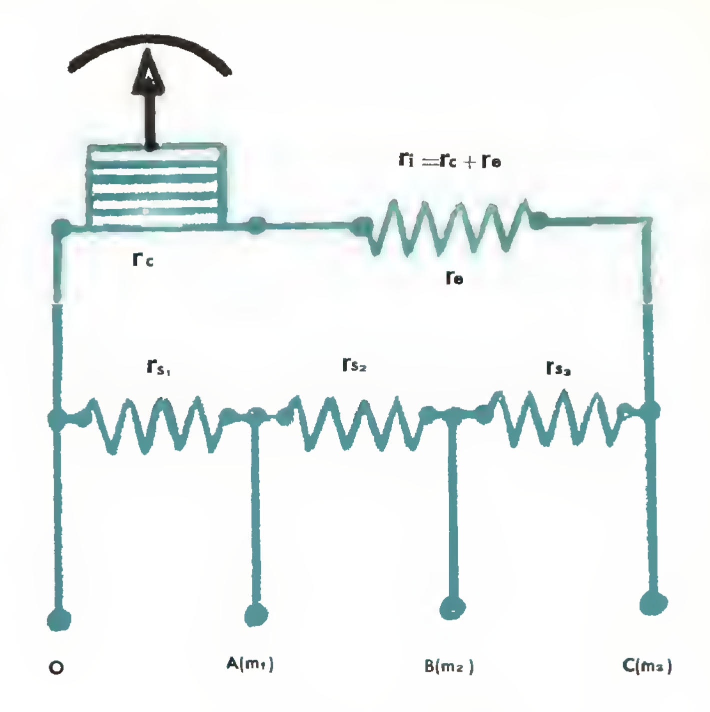
$$m_3 = \frac{r_i + R_s}{r_{s1} + r_{s2} + r_{s3}}; \; r_i + R_s \quad m_3 (r_{s1} + r_{s2} + r_{s3})$$

Observe que en estas tres expresiones aparece un numerador común $r_i + R_s$, que hemos despejado en cada igualdad obteniendo otras tres en las cuales el primer miembro es el mismo. Por tanto, podemos escribir:

$$m_1 + r_{s1} = m_2 (r_{s1} + r_{s2})$$
$$= m_3 (r_{s1} + r_{s2} + r_{s3}) = r_i + R_s$$

Partiendo de estas igualdades, se demuestra que para *n shunts* se cumple:

$$R_s = \frac{r_i}{m_n - 1}$$



La resistencia total de un sistema de n shunts es igual al cociente de dividir la resistencia interna del instrumento entre el poder multiplicador del último shunt (m_n), menos la unidad.

Y también:

$$r_{sn} = r_{s1} \left(\frac{m_1}{m_n} - \frac{m_1}{m_n-1}\right)$$

La resistencia del shunt enésimo es igual al producto de la resistencia del primer shunt por la diferencia entre los cocientes del poder multiplicador del primer shunt por el del último y el del primero por el penúltimo, o sea n-1.

En particular, la resistencia del primer *shunt* será:

$$r_{s1} = R_s \frac{m_n}{m_1}$$

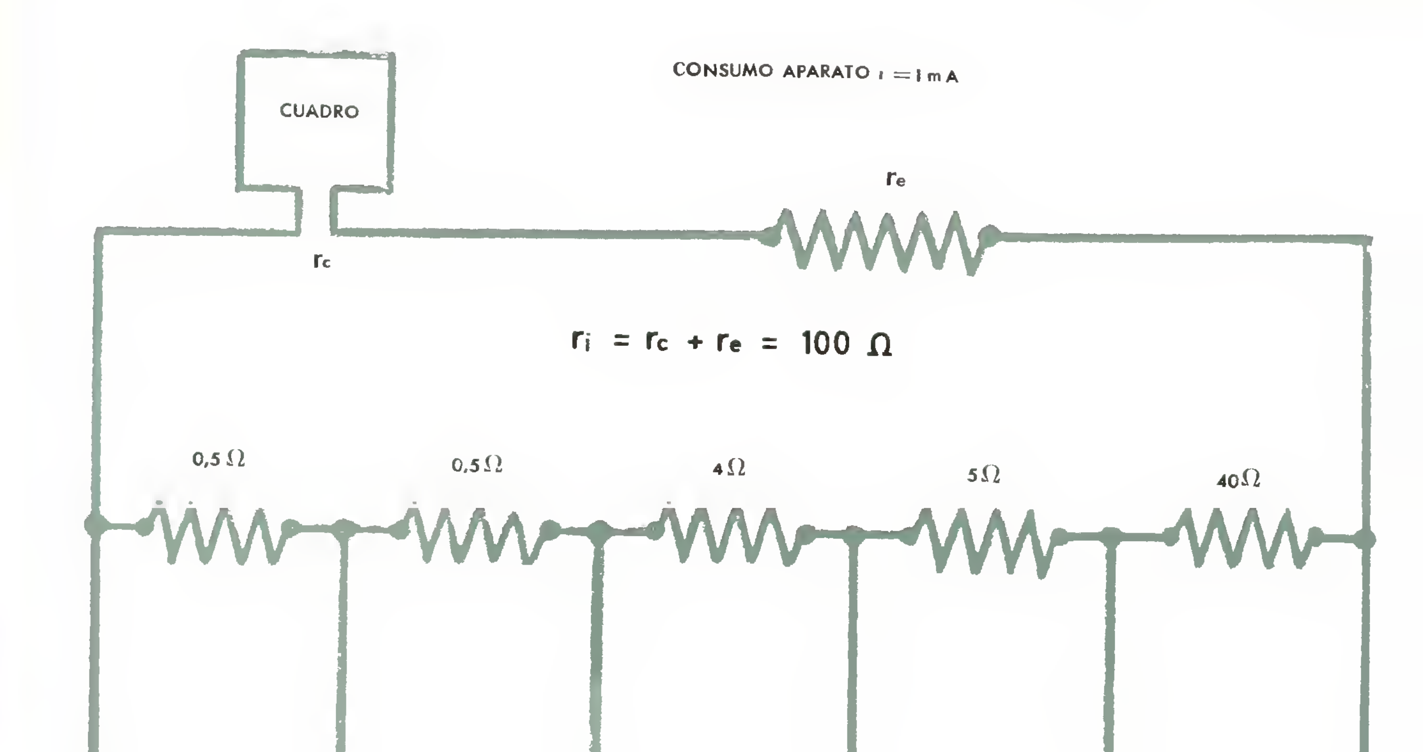
Siendo m_n el poder multiplicador del último *shunt* y la resistencia de r_{s2}, se obtiene por esta fórmula:

$$r_{s2} = {}_{s1} \left(\frac{m_1}{m_2} - 1\right)$$

Ejemplo

Disponemos de un aparato de alcance único: 100 mV, 100 Ω. Su consumo, por tanto, es de 1 mA a fondo de escala. Deseamos convertir este instrumento en un miliamperímetro con los siguientes alcances: 3, 15, 30, 150 y 300 mA.

Vea el esquema:



El poder multiplicador de cada *shunt*, puesto que la intensidad es 1, será:

$$m_1 = \frac{300}{1} = 300$$
$$m_2 = 150$$
$$m_3 = 30$$
$$m_4 = 15$$
$$m_5 = 3$$

Tenga presente que en este caso concreto el *shunt n* es el cinco.

Basta que apliquemos las fórmulas dadas, para saber la resistencia en ohmios que deberá tener cada *shunt*.

Calculeremos primero R_s.

$$R_s = \frac{r_i}{m_n - 1} = \frac{r_i}{m_5 - 1} = \frac{100}{3 - 1} = 50\ \Omega$$

Podemos calcular r_{s1} y r_{s2}:

$$r_{s1} = R_s \frac{m_n}{m_1} = 50 \frac{3}{300} = 5'5\ \Omega$$

$$r_{s2} = r_{s1} \left(\frac{m_1}{m_2} - 1\right) = 0'5 \left(\frac{300}{150} - 1\right) =$$
$$= 0'5 \times 1 = 0'5\ \Omega$$

Y ahora, por la fórmula general, calcularemos las restantes resistencias r_3, r_4 y r_5.

$$r_3 = r_{s1} \left(\frac{m_1}{m_3} - \frac{m_1}{m_2}\right) = 0'5 \left(\frac{300}{30} - \frac{300}{150}\right) =$$
$$= 0'5 \times 8 = 4\ \Omega$$

$$r_4 = r_{s1} \left(\frac{m_1}{m_4} - \frac{m_1}{m_3}\right) = 0'5 \left(\frac{300}{15} - \frac{300}{30}\right) =$$
$$= 0'5 \times 10 = 5\ \Omega$$

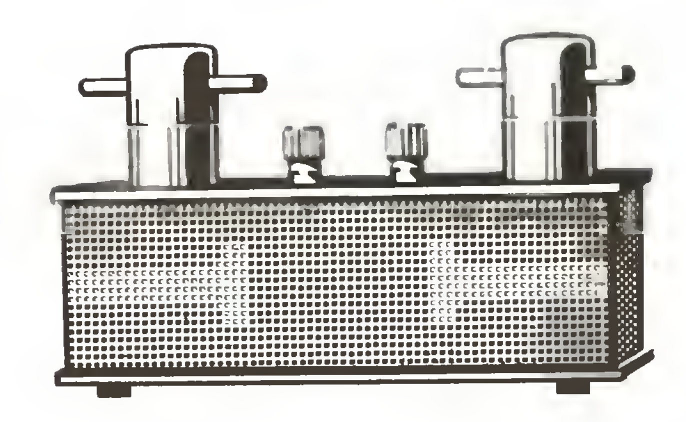
$$r_5 = r_{s1} \left(\frac{m_1}{m_5} - \frac{m_1}{m_4}\right) = 0'5 \left(\frac{300}{3} - \frac{300}{15}\right) =$$
$$= 0'5 \times 80 = 40\ \Omega$$

El esquema se ha dibujado con los valores indicados.

AMPERIMETROS

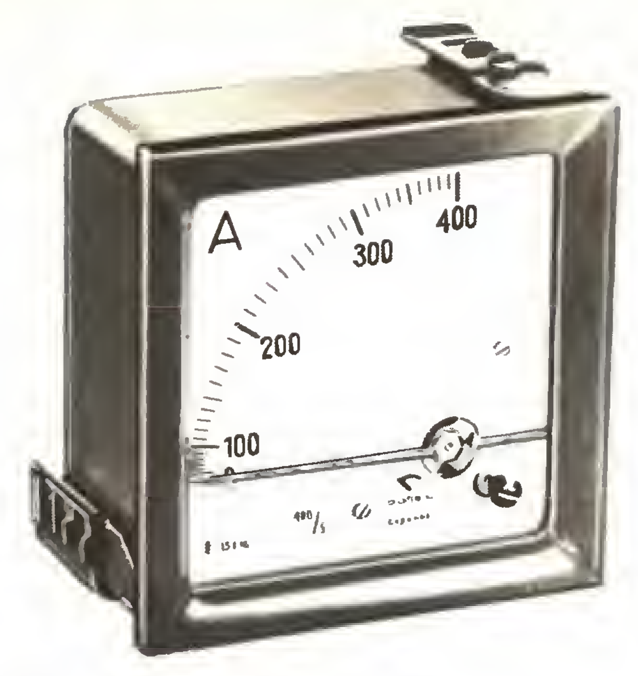
Los amperímetros son milivoltímetros cuya caída de tensión está comprendida entre 30 y 300 mV. Los diferentes alcances se obtienen con *shunts*, generalmente voluminosos y a cuatro bornes. A continuación reproducimos varios *shunts*.

Los *shunts* pueden estar protegidos. Representamos un *shunt* de este tipo.



Shunt montado dentro de una caja con pantalla metálica.

Pequeño muestrario de shunts de precisión (AEG).



Aunque es posible colocar algunos *shunts* en el interior de la caja del aparato, generalmente son exteriores cuando se trata de un instrumento destinado a un solo tipo de medidas. Cuando se trata de un medidor universal (el llamado téster) los sistemas de *shunts* se colocan en una caja general que a su vez lleva incorporado el instrumento.

Todos los *shunts* llevan marcada la caída de tensión en bornes para la corriente nominal y la resistencia del *shunt* en paralelo con el milivoltímetro.

Un buen *shunt* debe ser estable en función de la temperatura y el tiempo.

Los amperímetros están equipados con compensación de los efectos de temperatura. Cada constructor utiliza un sistema propio de compensación.

Amperímetro tipo industrial.

VOLTIMETROS

Los voltímetros proceden de los milivoltímetros y emplean resistencias conectadas en serie con el aparato. La resistencia en Ω/V del milivoltímetro determina el valor de la resistencia adicional para un alcance dado.

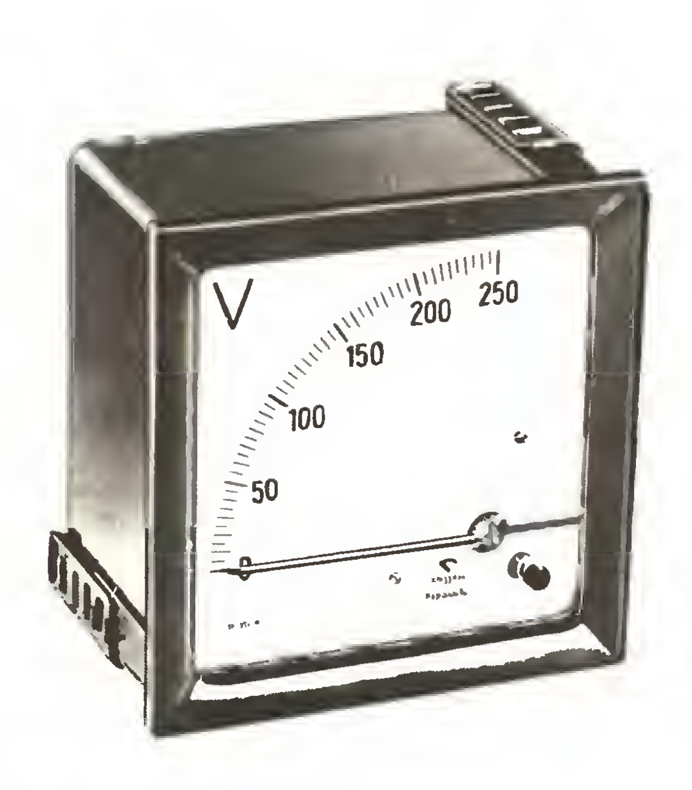
Un aparato de 100 Ω y 100 mV tiene una resistencia de 1000 Ω/voltio. Para un alcance de 75 V la resistencia total debe ser $75 \times 1000 = 75000$ Ω. Por tanto, la resistencia a conectar en serie será $75000 - 100 = 74900$ Ω.

Para alcances o sensibilidades superiores a 1500 V, las resistencias adicionales son generalmente exteriores y muy voluminosas.

Para medir la diferencia de potencial entre dos puntos de un circuito debe escogerse un voltímetro cuya resistencia sea muy superior (unas quinientas veces) a la del circuito en los puntos donde se efectuará la medición.

Para evitar correcciones debidas al consumo propio del aparato, se impone una resistencia elevada del mismo en Ω/V. Debido a las constantes mecánicas, la precisión de estos aparatos está comprendida entre 1'5 a 2 % del total de la escala.

El efecto de temperatura en los voltímetros queda suficientemente compensado por la resistencia conectada en serie, muy necesaria, como ya hemos visto antes.



Voltímetro tipo industrial.

VOLTAMPERIMETROS

Son aparatos portátiles que funcionan como amperímetros y como voltímetros. Constan de un milivoltímetro al cual se adapta una serie de *shunts* y resistencias adicionales que, por medio de conmutadores, pueden ser intercalados o suprimidos del circuito a voluntad

Volt-amperímetro de laboratorio. Precisión: 0'2 % del total de la escala.



Volt-amperímetro de laboratorio. Precisión: 1 % del total de la escala.

DEFECTOS EN EL FUNCIONAMIENTO DE LOS APARATOS DE CUADRO MOVIL

A continuación ofrecemos una lista de las averías más corrientes en los instrumentos de medida de bobina o cuadro móvil.

1. *Debilitamiento del imán.* Se debe al envejecimiento, golpes muy violentos y calentamiento excesivo. Provoca un retraso en la lectura del aparato. El desplazamiento del *shunt* magnético puede corregir este defecto. Una vez reparado es preciso tarar el aparato. Si con la regulación del *shunt* no se resuelve la avería puede tararse el aparato y cambiar la escala.

2. *Inestabilidad de las resistencias adicionales.* La inestabilidad de las resistencias puede falsear las medidas en uno o varios alcances del aparato. Una medida cuidadosa de la resistencia para cada alcance permite localizar la resistencia defectuosa y sustituirla.

3. *Deformación de la aguja a causa de una sobrecarga.* Para corregir este defecto se inmovilizará la aguja con una pinza no magnética; con otra pinza de iguales características se enderezará mediante torsión de su extremidad.

4. *Aguja que ha rebasado el tope de fin de escala.* Cuando la aguja ha rebasado uno de los topes de fin de escala, para colocarla en posición correcta, hay que desatornillar el tope, pasar la aguja y volver a colocar el tope. No hay que levantar la aguja por encima del tope, pues en tal caso es fácil estropear los pivotes del cuadro.

5. *La aguja no retorna a cero cuando el aparato está desconectado.* Los aparatos casi siempre llevan un tornillo para la corrección o ajuste a cero. Por tanto, se corregirá el cero actuando sobre este tornillo.

6. *Retorno a cero irregular.* Se debe a la suciedad acumulada en los pivotes. Por tanto, la mejor solución es limpiarlos. Si una vez limpios continúa el defecto conviene cambiar los pivotes, que seguramente están desgastados.

7. *La aguja se pega a los topes.* Este defecto está provocado por cargas estáticas. Para favorecer la circulación de estas cargas puede humedecerse ligeramente el cristal del aparato.

RESISTENCIAS UTILIZADAS EN CORRIENTE CONTINUA

Las resistencias de laboratorio, muy utilizadas en múltiples experiencias y que serán siempre taradas, pueden clasificarse en cinco grupos principales:

1. *Patrones de débil resistencia.* Sus valores oscilan entre 0'0001 y 1 Ω Su precisión máxima es de 0'01 %.

2. *Cajas de resistencias.* Sus valores están comprendidos entre 0'1 Ω y 100.000 Ω. Su precisión máxima es 0'01 %.

3. *Cajas de resistencias* de 100 KΩ a 10 MΩ. Su precisión máxima es de 0'02 %.

4. *Resistencias metalizadas* que siguen la ley de Ohm hasta 100.000 MΩ.

5. *Resistencias de película o capa de carbón,* estabilizadas hasta 1 MΩ. Su precisión es del 1 %.

CAJAS DE RESISTENCIAS

Las cajas de resistencias están formadas por cierto número de elementos resistentes estables y de baja reactancia, que pueden conectarse en serie por medio de uno o varios conmutadores o bien con clavijas cónicas insertadas en fichas. La figura adjunta representa una caja de resistencias con conmutadores de selección.

Las cajas de resistencias a ficha y clavijas sólo se fabrican sobre la base de grupos de diez fichas, cada uno de los cuales tiene una clavija única que le es propia y que no encaja en las demás décadas





Vista del panel superior de una caja de resistencias con conmutadores. La lectura total posible con esta caja sería de 20.100'1 ohmios.

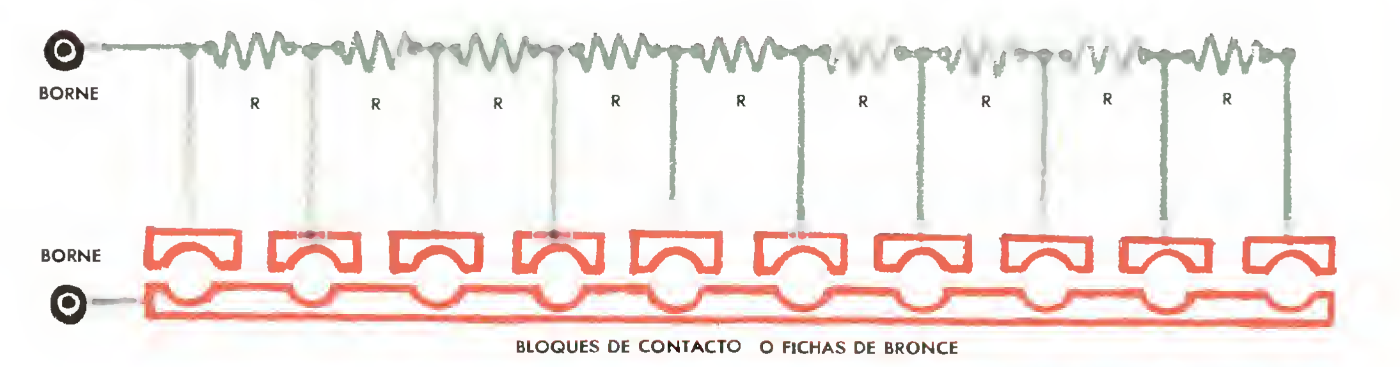
o grupos de diez fichas que pueda tener la caja.

A continuación ofrecemos algunos consejos para conservar las cajas de resistencias:

1. Revisión periódica de los contactos. Conviene limpiarlos siempre que sea necesario.

2. Tarado periódico de las resistencias comparándolas con patrones estables.

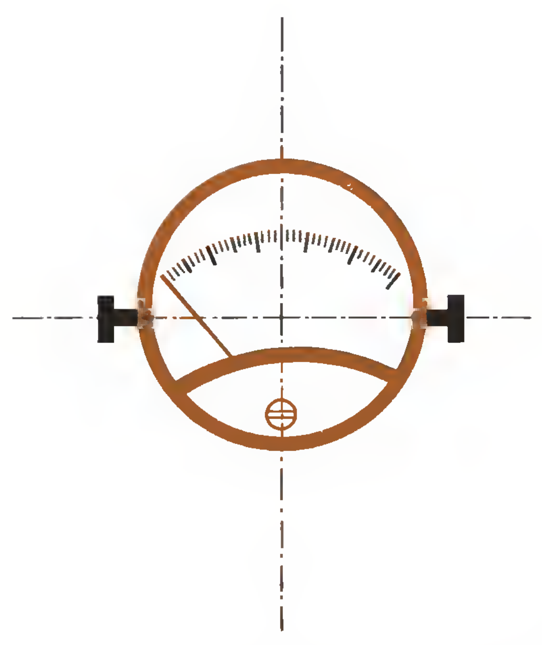
3. Medir la resistencia residual de la caja, con todos los conmutadores en la posición 0, comparándola con el valor indicado por el constructor.



Esquema de una década de resistencia cuyos contactos se establecen por fichas y una clavija de bronce.

ELECTROMETRIA

Medición de intensidades en c. c.
Aparatos de lectura directa
Medición de potencias en c. c.
Medición de resistencias.
Ohmetros y megóhmetros



LECCION Nº 3

electrometría 3

Medición de intensidades, tensiones y potencias en corriente continua

MEDICION DE INTENSIDADES EN C.C. INTENSIDADES COMPRENDIDAS ENTRE 1 μ A Y 100 A

La medición de este orden de intensidades por lo general se efectúa con instrumentos de lectura directa: microamperímetros, miliamperímetros o amperímetros, según la cuantía de la intensidad a medir. Es obvio decir que escogeremos el *shunt* necesario de acuerdo con el valor que deseamos poder cuantificar *a fondo de escala*.

La máxima precisión alcanzada en lecturas de este tipo es de 0'2 a 0'1 %. Digamos que la precisión de un instrumento de lectura directa aumenta cuando se trata de un aparato con aguja de gran longitud, que puede abarcar un arco de mayor longitud barriendo un ángulo más cerrado. Las divisiones de la escala pueden ser más precisas, y al mismo tiempo se evita que los muelles antagonistas quizás trabajen demasiado forzados.

En instrumentos diseñados para alcanzar gran precisión (acostumbran ser de gran tamaño), la aguja se sustituye por un sistema de indicación óptica similar al que citábamos al tratar de los galvanómetros en general. Entre los detalles que pueden consignarse en estos instrumentos cabe distinguir la forma en que está dibujada la escala. Vea ese fragmento de gran escala que añadimos a título informativo.

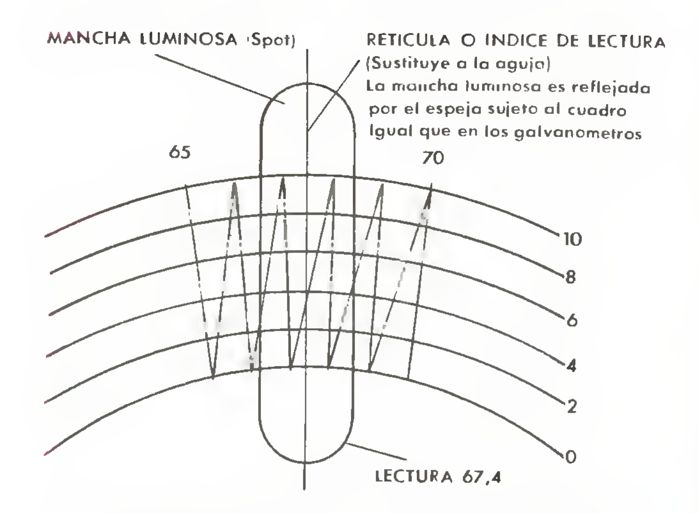
Antes de entrar en el estudio de la medición de grandes intensidades citemos las principales causas por las que un instrumento de cuadro móvil puede dar lecturas erróneas.

a) Contactos defectuosos en los bornes del instrumento o en las conexiones del shunt en caso de su existencia en el circuito. Se aconseja emplear bornes roscados, mucho más eficaces que las bananas y clavijas normales. Se comprende que en mediciones que exigen la mayor precisión los cables de conexión del *shunt* se habrán tarado; es decir, conoceremos su resistencia, como un dato más a manejar en nuestros cálculos.

b) Campos magnéticos parásitos debidos a la proximidad de imanes, líneas de tracción de c.c., cubas electrolíticas y cuantos circuitos pueden



Miliamperímetro y voltímetro, clase 0'2: error de 0'2 % de la desviación total de la escala. Es un aparato de bobina móvil para corriente continua.



Fragmento de la escala de un aparato de precisión. La lectura indicada en este ejemplo, sería de 67'4 (microamperios, miliamperios... depende del instrumento, claro).

crear un campo magnético incontrolado. Una pantalla de chapa magnética y la existencia de un fuerte campo en el exterior del motor del instrumento son un eficaz remedio a esta causa de error.

c) REPERCUSIÓN DE LOS CAMBIOS DE TEMPERATURA, sobre el mismo instrumento o sobre sus accesorios (*shunt*, conexiones, etc.).

d) LA RESISTENCIA INTERNA, nunca despreciable, del aparato. Este factor influye en el error sobre todo cuando se trata de medir corrientes débiles, engendradas por fuerzas electromotrices del orden de 1 mV. Deberá operarse con instrumentos cuya resistencia interna se adapte al circuito de utilización.

MEDICION DE LAS CORRIENTES DE GRAN INTENSIDAD

En ciertos tipos de instalaciones —de las que son ejemplo las que se destinan a procesos de electrolisis en laboratorios o industrias, las que sirven para la obtención de fuertes campos magnéticos (estudio de fenómenos magnéticos, magneto-ópticos o nucleares) y las instalaciones para soldadura eléctrica— es necesario medir intensidades elevadísimas, superiores a los 1000 A. Se comprende que tales corrientes requieren un trato especial y que su medición necesita un tipo de *shunt* que se aparte de la normal.

Uno de los inconvenientes que deben eliminarse es el calentamiento, el cual, en corrientes de gran intensidad, depende de variaciones de la tensión que en corrientes normales son prácticamente despreciables en relación a la variación de la potencia consumida.

Se comprende:

Un *shunt* para 1000 A consume 100 W cuando la tensión en sus bornes es 0'1 V. Este *shunt*, a 0'1 V, se enfría fácilmente con el simple contacto con el aire.

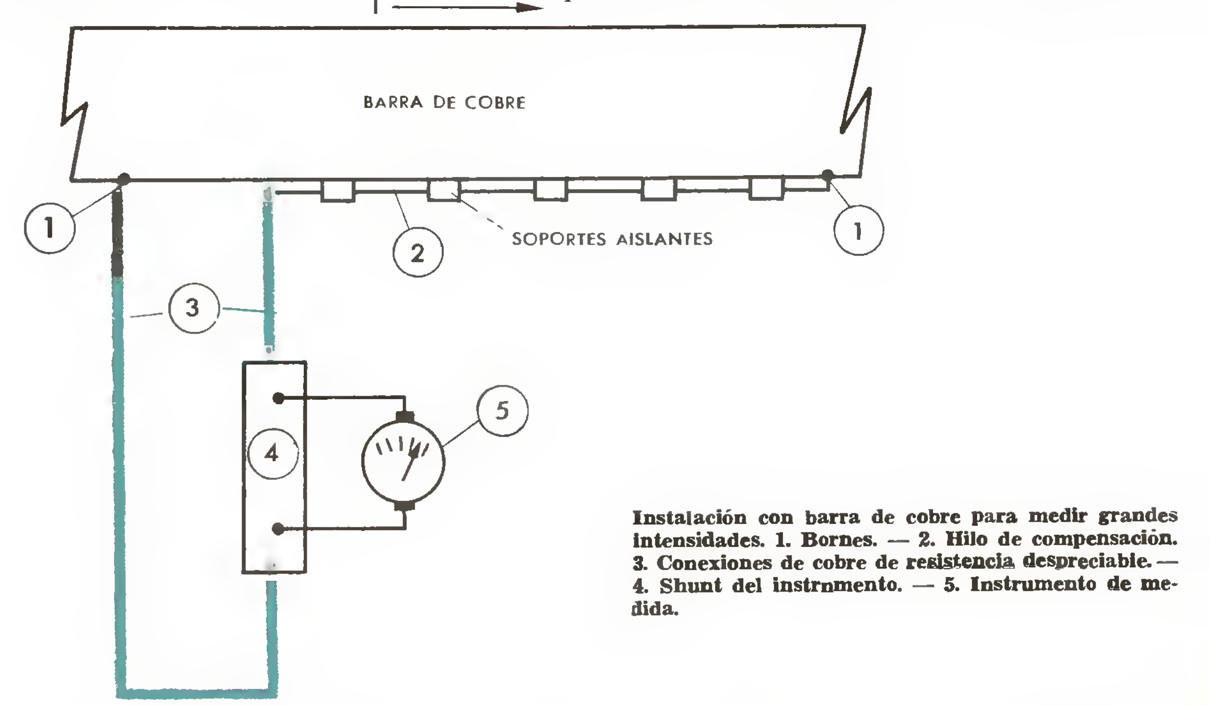
Pero si este mismo *shunt* está recorrido por la misma corriente de 1000 A, pero con una tensión de 5 V, la potencia consumida será de 5 KW. El enfriamiento es más problemático.

Imagine un *shunt* para 50.000 A y 0'1 V de tensión en sus bornes. Este *shunt*, pese a la tensión insignificante, consume también 5 KW. Sin refrigeración artificial, este *shunt* alcanzaría unas dimensiones inaceptables en la práctica.

Por otra parte, el funcionamiento a temperaturas elevadas puede provocar un régimen de medidas inestable. El calentamiento de las piezas de contacto puede motivar fenómenos parásitos capaces de afectar la lectura de 0'1 a 0'2 % por grado de temperatura.

En mediciones de este tipo, el instrumento debe colocarse distanciado del *shunt*, si bien será necesario tarar las conexiones entre ambos elementos.

Cuando pretendemos medir grandes intensidades sin precisión mayor del 2 al 5 %, podremos prescindir del *shunt*, utilizando en su lugar una



Instalación con barra de cobre para medir grandes intensidades. 1. Bornes. — 2. Hilo de compensación. 3. Conexiones de cobre de resistencia despreciable. — 4. Shunt del instrnmento. — 5. Instrumento de medida.

barra de cobre que no hace necesario interrumpir el circuito para efectuar la medición.

Dos tomas atornilladas o soldadas sobre la barra, con una separación de 1 m, proporcionan una d.d.p. de algunas decenas de mV, suficiente para lograr que derive hacia el instrumento una corriente proporcional a la que atraviesa la barra de cobre.

Este sistema tan sencillo tiene el inconveniente del alto coeficiente de temperatura del cobre, que obliga a utilizar un hilo compensador (también de cobre) cuya resistencia es unas tres veces mayor que la resistencia interna del instrumento de medida utilizado.

Vea la figura que esquematiza una conexión de este tipo.

La corriente a medir I atraviesa la barra de cobre, cuya resistencia es prácticamente nula, y provoca entre los puntos 1 una caída de tensión proporcional a la corriente. Esta caída es la que acusa el instrumento.

La caída que provoca a 50° C una densidad de corriente de 1 A/mm² es de 20 mV entre dos puntos separados 1 m entre sí.

Cuando la temperatura de la barra aumenta, sube también la tensión entre los puntos 1; pero, al mismo tiempo, el hilo compensador gana en resistencia en la misma proporción, quedando compensado el aumento de la temperatura, que de otra forma perturbaría la lectura.

La distancia entre la barra y el instrumento depende, sobre todo, de la sensibilidad que éste tenga ante las corrientes parásitas. Es prudente utilizar un instrumento provisto de pantalla magnética.

Este dispositivo debe tararse o contrastarse con una corriente conocida fácilmente medible con un amperímetro y *shunt* de 500 a 1000 A.

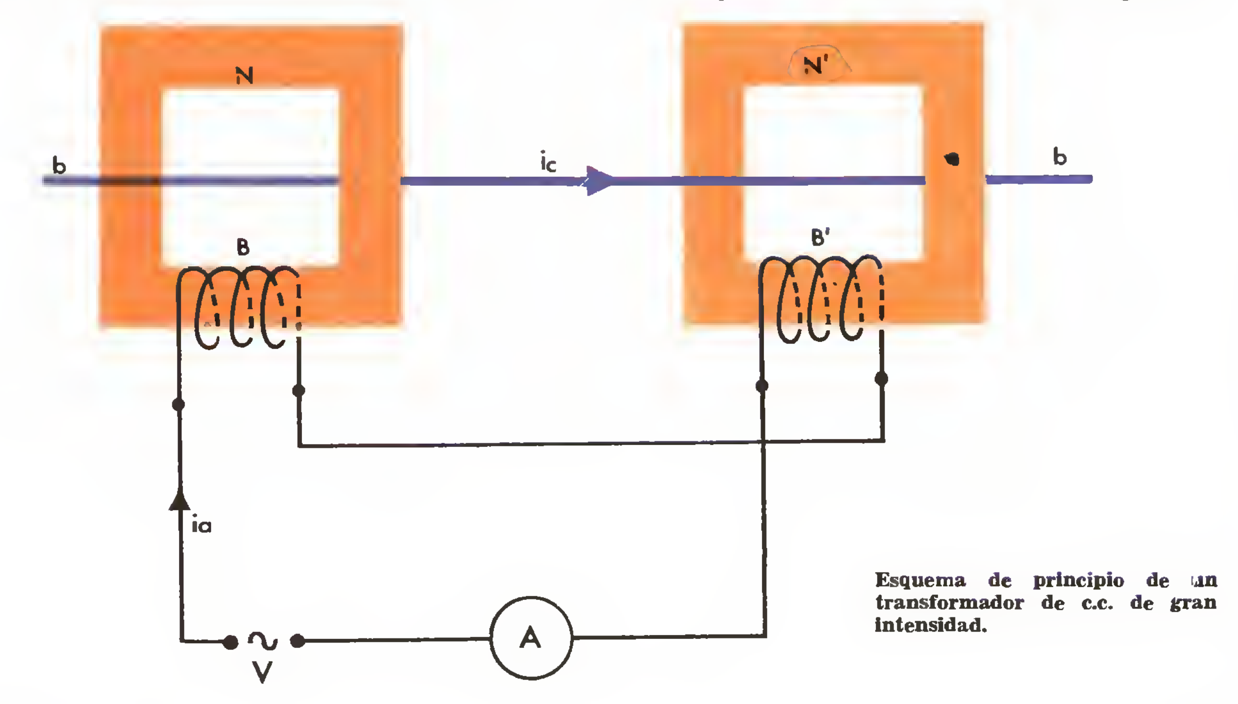
MEDICION DE GRANDES CORRIENTES CON APARATOS DE LECTURA DIRECTA

La necesidad de efectuar mediciones en diferentes puntos de un circuito exige el uso de instrumentos que no precisen ser tarados en el lugar donde van a ser requeridos. Esta necesidad, que tan fácil solución tiene en corrientes de amperaje normal, requiere soluciones de cierta complicación cuando se trata de grandes intensidades.

Una de las soluciones consiste en hacer actuar el campo magnético creado por una barra sobre el instrumento de medida, el cual deberá contener cierta cantidad de hierro. Se utiliza la perturbación producida por el campo magnético (que será proporcional a la corriente a medir) para cuantificar su amperaje.

Este procedimiento, empero, resulta muy incómodo por la complejidad de los fenómenos que en él intervienen.

Otra técnica seguida para cubrir la necesidad que comentamos es la de los amplificadores magnéticos, que ha desarrollado el método siguiente:



Esquema de principio de un transformador de c.c. de gran intensidad.

Dos núcleos idénticos N y N', provistos de sendos arrollamientos también idénticos (B y B') alimentados en oposición de fase, están atravesados por una barra *b* a través de la cual circula la corriente continua que deseamos medir.

Los dos devanados B y B' se alimentan con la tensión alterna de V voltios que proporciona una intensidad alterna i_a. En este circuito se intercala, el amperímetro, en cuya escala, debidamente graduada, efectuaremos la lectura.

La inductancia total resulta suficiente para que la desviación del amperímetro debida a i_a sea insignificante. Pero la corriente continua i_c crea una inducción continua que satura los núcleos. Su presencia contribuye a disminuir considerablemente la inductancia de las bobinas; entonces, la corriente magnetizante que afecta al instrumento de medida toma valores apreciables, proporcionales a la intensidad de la corriente i_c.

Es decir: el valor de i_a depende del valor de i_c; de ahí que si se gradúa convenientemente la esfera del instrumento las lecturas corresponden directamente a valores de i_c.

El alcance de medidas con estos dispositivos es de 300 a 100.000 A, con un amperímetro normal como instrumento de medida.

MEDIDA DE TENSIONES EN CORRIENTE CONTINUA

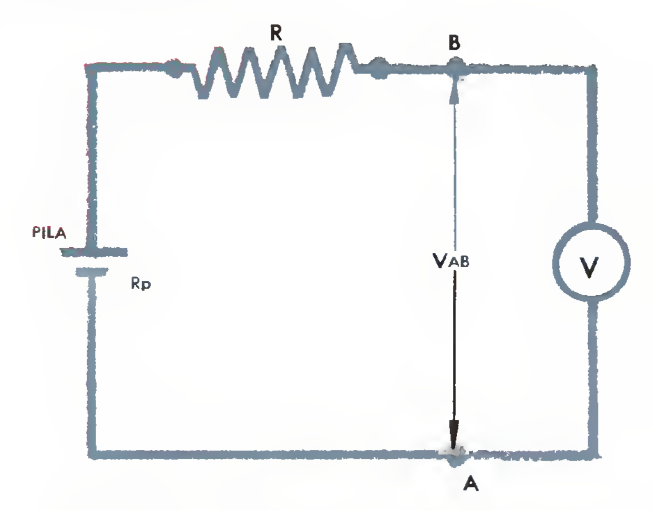
Empecemos por decir que un instrumento de lectura directa de resistencia interna r_i, la que provoca una caída de tensión v, cuando esté conectado entre dos puntos A y B de un circuito (vea el esquema) indica una diferencia de potencial que viene dada por esta expresión:

$$V = V_{AB} \frac{r_i}{r_i + R_{AB}}$$

En ella es: V = lectura; V_{AB} = d.d.p. existente en A y B; r_i = resistencia interna del instrumento; R_{AB} = resistencia total del circuito, que a su vez es igual al valor R de la resistencia propia del circuito más el valor R_p o resistencia interna del generador.

Esta igualdad nos hace ver que la lectura sólo será igual a la tensión existente entre los puntos en que se efectúa la medición cuando r_i sea considerablemente mayor que la resistencia total del circuito R_{AB}. Sólo así la fracción $r_i/r_i + R_{AB}$ se acerca a la unidad.

La corrección de consumo es del 0'2 % cuando r_i es igual o mayor que 500 veces R_{AB}.



Medición de la diferencia de potencial V_{AB} entre dos puntos A y B de un circuito de corriente continua. Para esta medición debemos considerar las magnitudes siguientes: r_i=resistencia interna del aparato. v=caída de tensión del aparato. R_p=resistencia interna de la pila. R=resistencia de carga.

Medidas de tensión en c.c. de 1 mV a 1000 V

Para medir tensiones comprendidas entre 1 mV y 1000 V se utilizan instrumentos de cuadro móvil. Se presentan dificultades cuando se trata de circuitos de gran resistencia, en los cuales la potencia alcanza valores similares al del consumo del aparato. En estos casos deben utilizarse voltímetros electrónicos.

En estos casos, como es lógico, se utilizarán resistencias adicionales, que normalmente se fabrican para ser empleadas en la medición de tensiones de 1000 a 50.000 V.

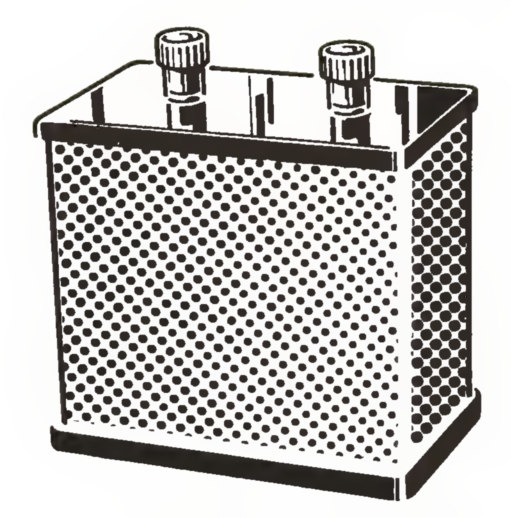


Resistencias adicionales AEG para medir tensiones en c.c.

La manipulación de estas resistencias de alta tensión debe hacerse con precaución extremada.

También pueden emplearse voltímetros electrostáticos. Se trata de aparatos portátiles de manejo bastante fácil y de consumo prácticamente nulo, cosa que los hace adecuados para medir tensiones elevadas. Añadimos la representación ideal del mecanismo de uno de estos instrumentos, cuyo alcance cubre de 0 a 100.000 voltios.

El fundamento de este aparato está en la ley de atracción y repulsión de las cargas eléctricas; más concretamente, en la atracción de las armaduras de un condensador cargado.



Para aparatos portátiles

Para montaje en cuadro

BORNE A.T.
RESISTENCIA DE PROTECCION
COJINETE (rubí)
PIVOTE
ESCALA
ESPIRAL
LENTE
ESPEJO
BOMBILLA
AMORTIGUADOR

Representación ideal de un voltímetro electrostático.

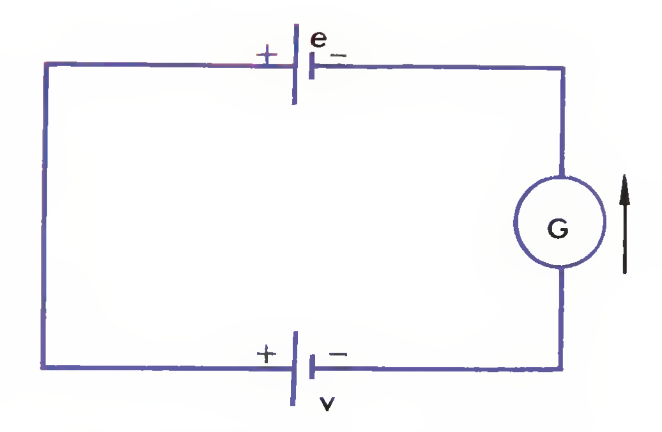
MEDICION DE CORRIENTES Y TENSIONES CONTINUAS POR EL METODO DE OPOSICION

Se trata de un método (cuyo esquema simplificado puede ver aquí mismo) que opone una diferencia de potencial V a la d.d.p. o caída de potencial a medir en los extremos de una resistencia tarada. En nuestro esquema llamamos V a la d.d.p. conocida y *e* a la caída que deseamos medir.

La d.d.p. V es regulable con facilidad gracias a una resistencia variable. Cuando las d.d.p. V y *e* son iguales, el galvanómetro estará en cero; lo cual, dicho en pasiva, significa que cuando el galvanómetro indique cero se habrán igualado los valores V (conocido) y *e* (desconocido).

Acabamos de decir que para la regulación de la tensión V se utilizan resistencias variables. Tales resistencias reciben el nombre de potenciómetros. Se trata, en realidad, de dos resistencias cuyo valor puede variar, pero cuya suma es constante. La versión más simple de un potenciómetro está formada por una resistencia bobinada de valor conocido, sobre la cual se desliza un cursor con un tercer borne de conexión.

Veamos ahora el esquema completo para la medición de tensiones por el método de oposición, que, como puede apreciar, consigue que el galvanómetro se ajuste a cero, haciendo variar el valor de las resistencias R_0 y R_1.

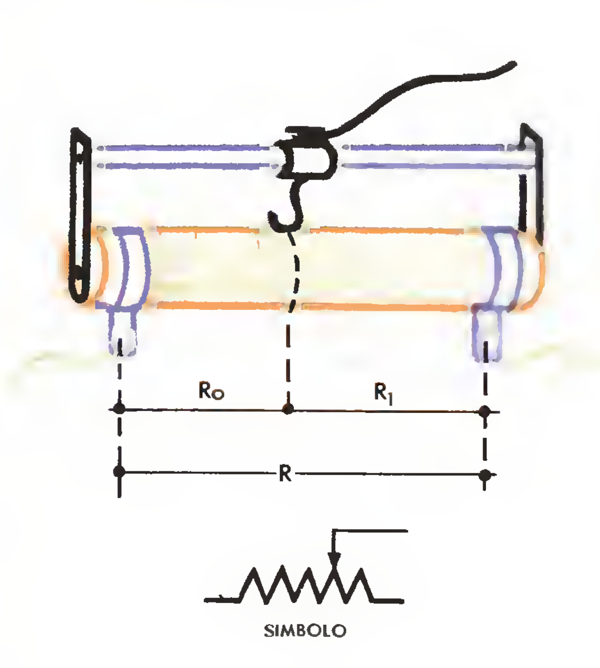


Esquema simplificado del método de oposición. Para e=V, se cumple que i=0.

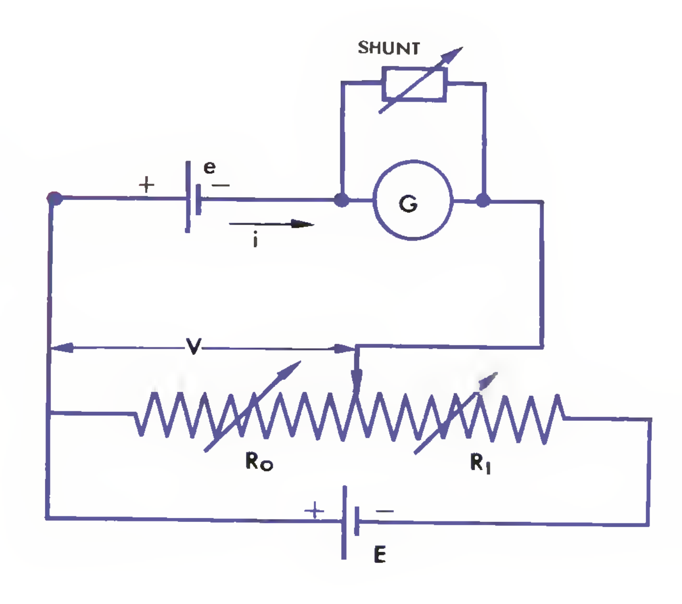
Cuando las resistencias de este montaje son tales que el galvanómetro señala el cero, se cumple la siguiente igualdad:

$$e = V = E \frac{R_0}{R_0 + R_1}$$

Es evidente, pues, que conociendo E y tarando las resistencias del galvanómetro podemos conocer el valor de la f.e.m. incógnita *e*.



Esta podría ser la versión simple de un potenciómetro.



Esquema del montaje de un potenciómetro para medir una f.e.m. por el método de oposición.

MEDIDAS DE POTENCIA EN CORRIENTE CONTINUA

Supongamos que una f.e.m. E alimenta un receptor a través de una línea bifilar (dos hilos) cuya resistencia es *r*. La potencia V × I consumida en R puede medirse con el montaje que representa el siguiente esquema.

Una vez conocidas I y V_1 (por lectura directa), la potencia P debe calcularse aplicando esta sencilla fórmula:

$$P = V_1 \quad I - \frac{V_1}{r_1}$$

Otro sistema de medir la potencia es el de los dos voltímetros, cuyo esquema de montaje proporcionamos acto seguido. Uno de los voltímetros se conecta a los extremos de una resistencia conocida R_0. Digamos, generalizando, que su lectura da una d.d.p. de V voltios. El otro voltímetro, conectado a los extremos de la resistencia R que motiva la operación, da una lectura de V voltios. Conociendo las resistencias interna r_i y r_i' de los dos instrumentos, la potencia absorbida por R está dada por esta fórmula:

$$P = \frac{U \times V}{R_0} \times \frac{r_i + R_0}{r_i} - \frac{V^2}{r_i'}$$

Actualmente disponemos de aparatos de lectura directa para la medición de potencias. Son los vatímetros, que en su modalidad de electromagnéticos permiten mediciones en c.c. con una precisión de 0'5 % y un alcance hasta 100 A.

Su aplicación más específica está en los casos en los que la carga varía con rapidez haciendo imposible una medición por los métodos descritos, que siempre resultan más laboriosos.

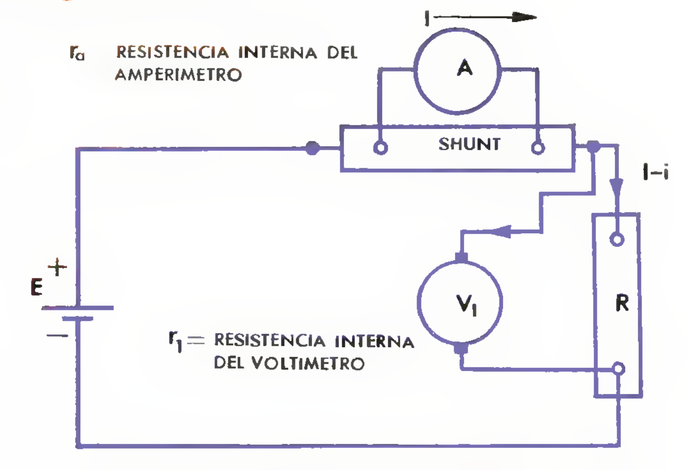
Vea el esquema de principio de uno de estos aparatos.

El fundamento teórico en que se basan es el siguiente:

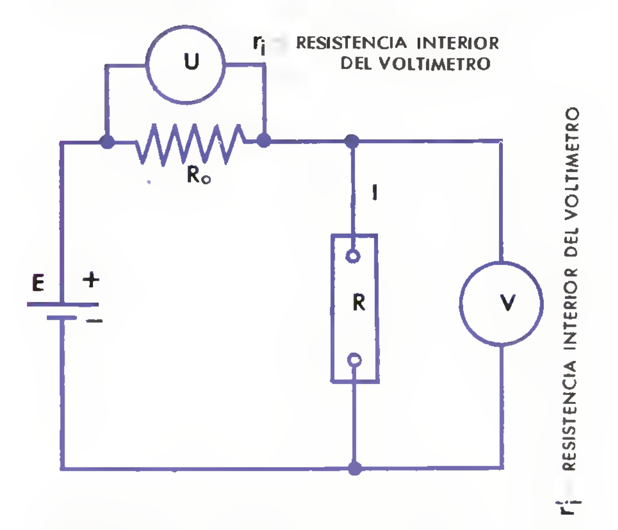
En el interior de una bobina de campo (fijo) recorrida por la corriente de la línea, puede girar una bobina móvil recorrida por una corriente de intensidad proporcional a la tensión de la línea, y que, por lo mismo, dependerá de la carga a ella aplicada.

Es lógico que el momento de giro resultante de la intensidad del campo magnético (proporcional a la corriente de la línea) y de la corriente de la bobina móvil (proporcional a la tensión) representa la potencia absorbida por la carga, la que podemos leer directamente sobre una esfera graduada.

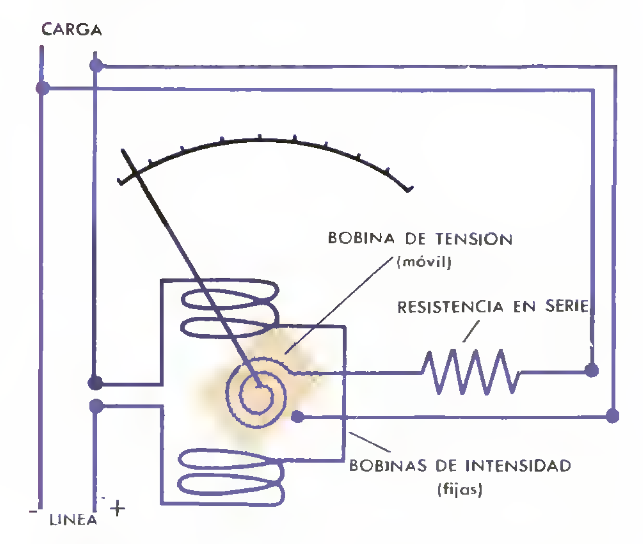
Los muelles en espiral que se emplean para llevar la corriente a la bobina móvil sirven al mismo tiempo como antagonistas del par de giro.



Esquema del montaje que permite calcular la potencia absorbida por una resistencia R alimentada por una f.e.m. E.



Medición de potencias por el sistema de los dos voltímetros.



Esquema de principio de un vatímetro electromagnético.

MEDICION DE RESISTENCIAS EN CORRIENTE CONTINUA

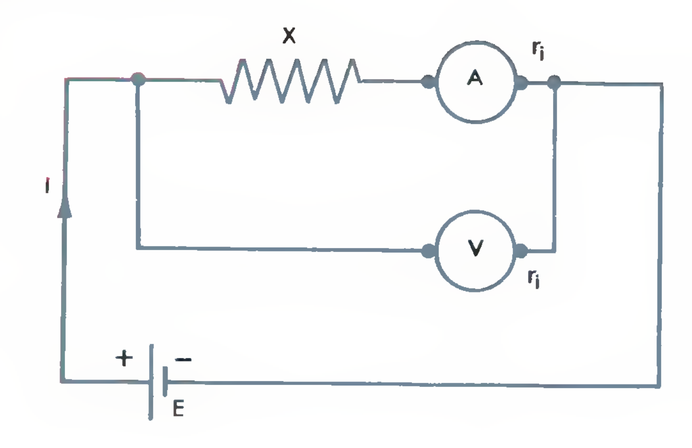
En c.c. el valor de una resistencia desconocida puede hallarse por lectura directa en un óhmetro o bien por cálculo, previo el conocimiento de la caída de tensión que provoca en sus bornes una corriente de intensidad y duración compatibles con la conversación en perfecto estado de la resistencia ensayada.

Veamos primero los métodos de lectura indirecta, para pasar luego al estudio de los galvanómetros.

METODO DEL VOLTIMETRO Y DEL AMPERIMETRO

Este método está fundamentado en la ley de Ohm. Consiste, simplemente, en medir la caída de tensión en los bornes de la resistencia desconocida, sabiendo la intensidad que por ella circula.

El esquema corresponde al montaje del circuito que permite conocer el valor de la resistencia X por el sistema o método de caída de tensión o, como hemos enunciado, por el método del voltímetro y del amperímetro.



Medición de una resistencia X por el metodo del voltímetro y del amperímetro.

Leeremos la intensidad I y la tensión V; luego, según Ohm, el valor de X' será:

$$X' = \frac{V}{I}$$

Pero observe que este valor X no es exactamente el valor de la resistencia, sino que comprende también el valor r_i de la resistencia interna del amperímetro. Por ello hemos denominado X' y no X al valor encontrado, porque es:

$$X' = X + r_i$$

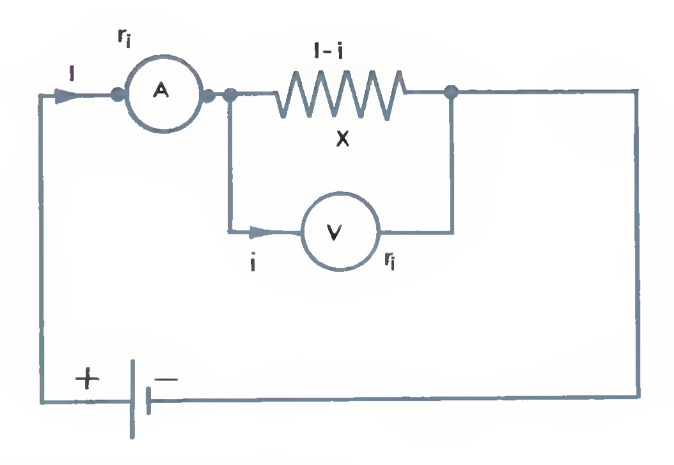
lo que nos permite hallar inmediatamente X si no se conoce la resistencia interna del amperímetro:

$$X = X' - r_i$$

No es éste el único montaje que puede utilizarse. Vea el segundo esquema de este apartado.

Este montaje da el valor de la resistencia equivalente al sistema formado por X y r_i en paralelo. Por tanto, el valor de X será:

$$X = \frac{V}{I} \quad 1 + \frac{V}{r_i\ I}$$



MEDICION DE RESISTENCIAS POR EL METODO DE AJUSTE CON EL PUENTE DE WHEATSTONE

El puente de Wheatstone está formado por tres resistencias variables conocidas y por la resistencia incógnita. Las cuatro resistencias quedan conexionadas según demuestra el esquema de dicho puente de Wheatstone que adjuntamos a continuación.

Las resistencias variables R, R_1 y R_2 son, como hemos dicho, datos conocidos. La resistencia R_x es la incógnita cuyo valor deseamos conocer.

Para efectuar la medición, se ajustan las resistencias variables hasta conseguir que el galvanómetro se ajuste a cero; cuando el sistema alcanza

esta condición, el valor de R_x está dado por esta expresión.

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} \times R$$

El inversor I_1, afecto a la batería que alimenta el sistema, debe cerrarse, siempre, antes que el interruptor I_r que cierra el circuito sobre el galvanómetro. Es una providencia que debe tomarse para proteger el galvanómetro de posibles sobreintensidades que transitoriamente pueden darse si la resistencia R_x a medir resultase tener propiedades inductivas.

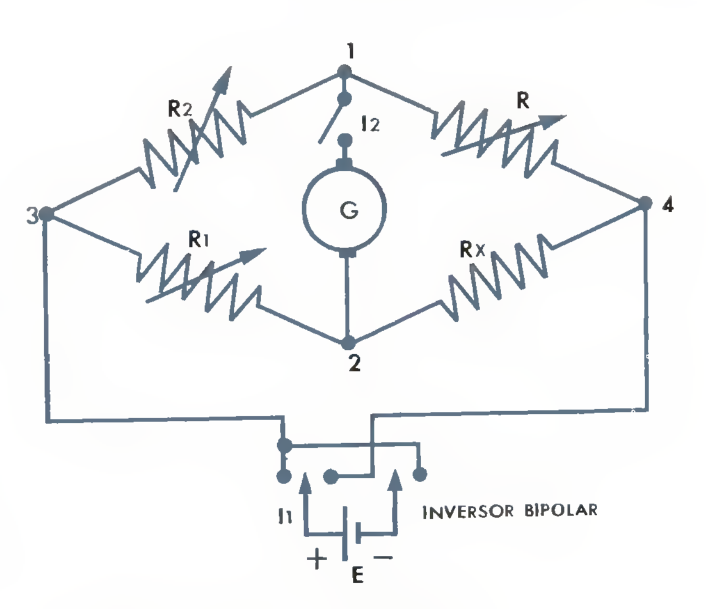
Los puentes de Wheatstone se construyen en modelos muy diversos. En algunos casos, las resistencias R, R_1 y R_2 son resistencias bobinadas calibradas con valores múltiples de 10, cosa que facilita de modo extraordinario el cálculo. Estas resistencias se ponen en circuito mediante interruptores o clavijas.

En otros puentes sólo es variable una de las tres resistencias conocidas; las otras dos se ajustan a valores fijos.

Digamos también que el galvanómetro y la pila o batería pueden incluirse en el mismo *mueble* que alberga el puente, o bien pueden ser accesorios fácilmente acoplables a él.

Los puentes de Wheatstone son apropiados para medir resistencias cuyo valor esté comprendido entre 1 Ω y 1 MΩ. Entre estos límites, con puente de buena calidad pueden obtenerse medidas con un error de 0'1 %.

Las resistencias pueden disipar 1 W sin sobrecalentarse, aunque es prudente evitar que la intensidad de la corriente suministrada por la batería resulte excesiva.



Esquema dei puente de Wheatstone.

OHMETROS

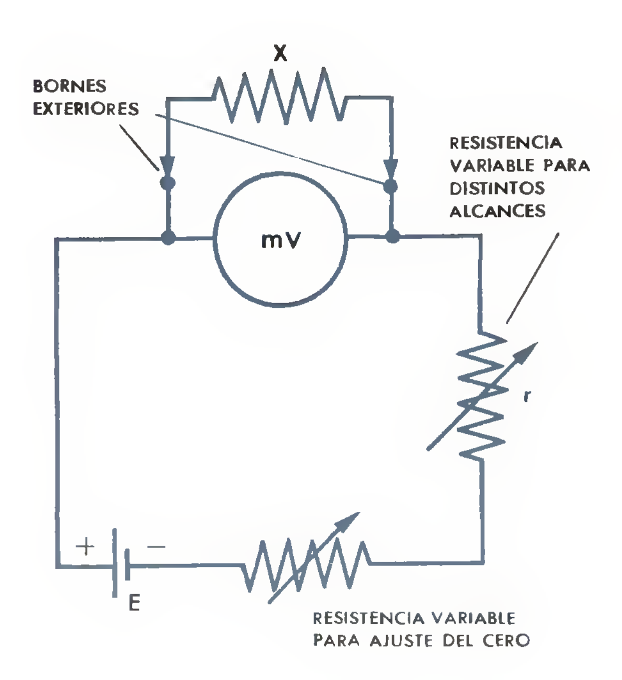
Etimológicamente, será un óhmetro todo aparato destinado a dar el valor en ohmios de una resistencia eléctrica. Sin embargo, en términos profesionales, entendemos por óhmetro al instrumento de medida portátil cuya escala da una lectura directa del valor óhmico de una resistencia.

El instrumento de medida de un óhmetro acostumbra ser un aparato de cuadro móvil (un milivoltímetro) con una escala (o varias escalas para alcances distintos) calibrada en ohmios. Este instrumento se intercala en un circuito en el que, fundamentalmente, se incluye una batería que proporciona la corriente necesaria para alimentar el circuito y afectar la resistencia a medir; y dos resistencias variables, una para compensar el desgaste de la batería y ajustar a cero la aguja del instrumento y otra que, al variar en su valor, permite obtener distintos alcances del instrumento.

El instrumento de un óhmetro puede estar colocado en el circuito en dos montajes distintos.

1. Montaje en paralelo

El esquema inmediato muestra las particularidades de este montaje.



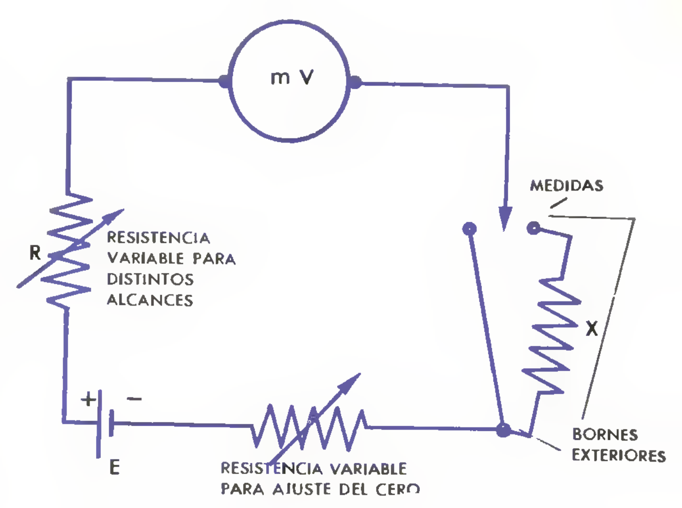
Esquema de un óhmetro según un montaje en paralelo.

2. Montaje en serie

Vea el esquema de este montaje, donde el instrumento queda en serie con la resistencia a medir.

Vea un modelo de óhmetro. Para ajustarlo a cero —cosa que debe hacerse antes de cada medición, puesto que varía de acuerdo con el alcance escogido y con el desgaste de la pila— se ponen en contacto los dos bornes exteriores (puntas de prueba) y se regula el potenciómetro —0— hasta conseguir que la aguja se detenga sobre el cero de la escala graduada.

El otro mando corresponde al conmutador de alcances. Con él se ponen en circuito los *shunts* necesarios para conseguir que el valor de resistencia medido resulte igual a la lectura multiplicada por 10, por 100, por 1000, etc.



Ohmetro con el instrumento en serie con la resistencia a medir.

INSTRUMENTOS UNIVERSALES DE MEDIDA

Como su nombre indica, se trata de aparatos que pueden medir distintas magnitudes con un mismo instrumento. Pueden medir corrientes y tensiones continuas; y también corrientes y tensiones alternas gracias al rectificador de selenio que llevan incorporado. Funcionan también como óhmetros a pila.

A título de ejemplo, reproducimos un téster fabricado en Milán por la firma ICE. En este modelo los distintos alcances no se consiguen con un conmutador, sino por medio de distintas hembrillas donde situar las puntas de prueba. Es una solución que prefieren muchos profesionales por causa de la mayor sencillez del circuito.

Tratándose de aparatos cuyas particularidades dependen del criterio del fabricante, es lógico que se suministre un folleto de instrucciones para su correcto manejo y conservación.

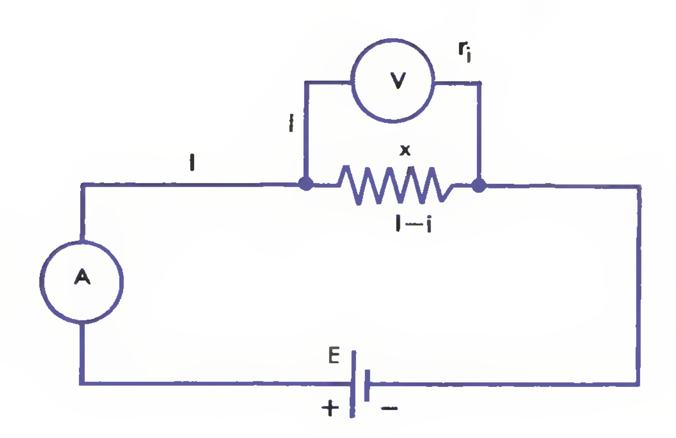




Fotografía de dos instrumentos universales de medida. El de la izquierda (fabricación italiana) consigue los distintos alcances mediante hembrillas. El de la derecha es un instrumento japonés cuyos distintos alcances se establecen por medio de un conmutador.

MEDICION DE RESISTENCIAS COMPRENDIDAS ENTRE 10 Ω Y 1 MΩ

Vamos a dar noticia, sin entrar en demostraciones, de los sistemas que se utilizan para la medición de pequeñas resistencias. Esta noticia consistirá en darle el esquema y nombre del montaje, así como la fórmula que proporciona el valor de la resistencia incógnita.



1. Método del voltímetro y del amperímetro

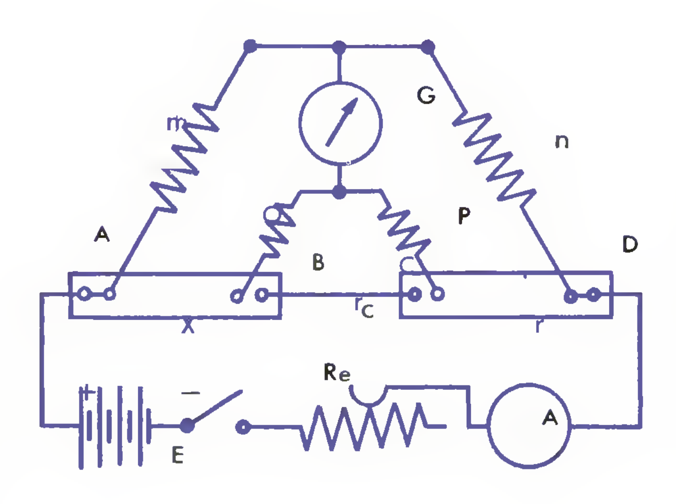
$$X = \frac{V}{I}\left(1 + \frac{V}{r_i\ I}\right)$$

2. Puente de Thomson

$$X = \frac{m}{n}\ r + \frac{r_c}{n} \times \frac{m_p - n_o}{o + p + r_e}$$

3. Puente doble de Kelvin

$$X = \frac{m}{n}\ r + \frac{r_c}{n} \times \frac{m_p - n_o}{o + p + r_e}$$



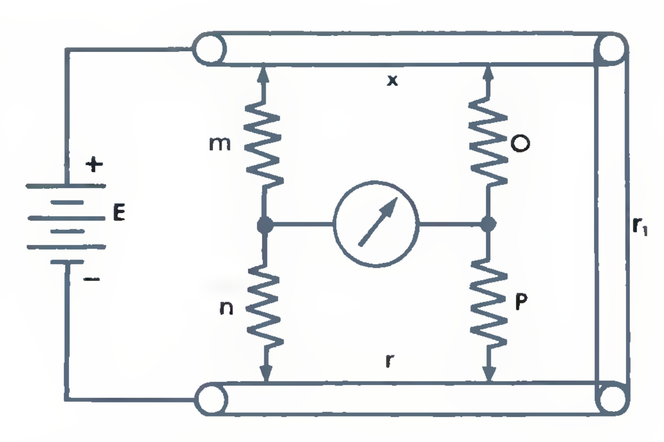
Como puede ver, la fórmula es igual que la de Thomson. Se trata de dos sistemas prácticamente iguales.

Cuando se analizan resistencias de bajo valor la conexión r_c puede tener una resistencia igual o mayor que la que se analiza. Entonces el segundo

término de la derecha de la ecuación anterior puede tener importancia; pero si puede hacerse que la relación m/o sea igual a n/p (m/o = n/p) este segundo término desaparece (se cumple que $m_p - n_o = 0$) y el valor de r_c no ejerce influencia.

La igualdad m/o = n/p puede comprobarse abriendo la conexión r_c una vez el galvanómetro marca cero. Si dicha igualdad existe, la aguja permanecerá en cero. Entonces la fórmula queda reducida a:

$$X = \frac{m}{n} \times r$$



MEDIDIDAS DE RESISTENCIAS SUPERIORES A 1 M

MÉTODO DE COMPARACIÓN

Este sistema utiliza un galvanómetro sensible provisto de un *shunt* universal y una resistencia bobinada R de 1 MΩ. Adjuntamos el esquema del circuito.

Para efectuar una medición procederemos del modo siguiente:

1. Leemos la desviación del galvanómetro. Vamos a decir, para generalizar, que esta desviación señala un valor *n*, con un poder multiplicador del *shunt* igual a *m*, cuando el conmutador C está conectado a X.
2. Conectaremos C a la resistencia R y procederemos a leer el galvanómetro y el poder multiplicador del *shunt*. Digamos que las lecturas son n' y m'.
3. El valor de la resistencia X viene dado por esta ecuación:

$$X = R \left(\frac{m'}{m}\right) \left(\frac{n'}{n}\right)$$

Esto se cumplirá siempre que la tensión V sea rigurosamente constante e igual para las dos lecturas efectuadas.

SHUNT UNIVERSAL
G
x
R
E
– +
C
V

MEGOHMETROS

Para la lectura rápida de grandes resistencias (para la verificación de aislamientos, por ejemplo) se emplean aparatos de medida que reciben el nombre de megóhmetros.

Los más utilizados son los MEGÓHMETROS A MAGNETO, en los cuales la tensión aplicada a la resistencia se genera con una dínamo magnetoeléctrica accionada por medio de una manivela.

El esquema que acompaña estos párrafos corresponde al circuito típico de un megóhmetro. La escala del instrumento (generalmente de aguja) está graduada en MΩ. La escala se habrá diseñado para una tensión determinada que depende, como es natural, de la velocidad de rotación del inductor de la magneto. Por tal razón los buenos megóhmetros llevan un regulador de velocidad que desembraga en caso de exceder de la calculada, ya que la lectura carece de sentido si la tensión no es constante.

TIERRA

PULSADOR DE
TARADO

INSTRUMENTO DE
CUADRO MOVIL

RESISTENCIA DE
PROTECCION R

MANIVELA

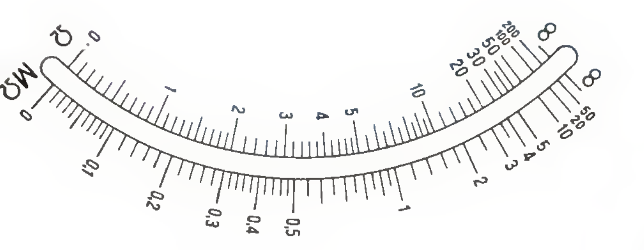
MΩ

N

S

x

Esquema de un megóhmetro.



Escala graduada de un megóhmetro.



Vea, finalmente, la fotografía de un megóhmetro que puede trabajar con dos tensiones (500 V y 1000 V) y que está preparado para medir resistencias bajas en cuatro alcances, desde 0'1 hasta 200.000 Ω.

Este libro
se terminó de imprimir
el día 20 de Junio de 1970



electricidad
teorico-práctica

Como complemento de la enseñanza propiamente eléctrica, este Método comprende una serie de materias de vital importancia para la formación del técnico en electricidad. Gracias a ello, permite capacitarse como técnico completo, de modo que sea capaz de planear y resolver la instalación eléctrica de una vivienda, así como reparar un aparato electrodoméstico o localizar cualquier avería en la parte eléctrica de un automóvil.

Estas materias se han agrupado en cinco apéndices repartidos a lo largo del Método, en forma de series de lecciones sobre temas concretos: Apéndice I - Taller Mecánico; Apéndice II - Conocimiento de Materiales; Apéndice III - Fichas Técnicas; Apéndice IV - Electrometría; Apéndice V - Soluciones-tipo.

La serie *Taller Mecánico* facilita al lector estudioso una idea perfecta de las características y posibilidades de todas las máquinas y herramientas que pueden necesitarse en un proceso de fabricación o reparación de las distintas piezas que forman parte de un aparato o máquina eléctrica. Este conocimiento de causa permite discutir con los expertos mecánicos en debida forma; comentar, rectificar, decidir, en una palabra, lo que conviene o no en un trabajo.

La serie *Conocimiento de Materiales* es una ayuda extra para el experto en Electricidad. El profesional necesita conocer las posibilidades de cada uno de los materiales que emplea en su labor; esta serie de lecciones le proporciona ese conocimiento y le permite usar cada uno de ellos en el lugar adecuado y en las mejores condiciones de rendimiento y utilidad.

La serie *Fichas Técnicas* es un elemento de consulta de primer orden. Contienen una serie de datos técnicos que suelen consultarse con frecuencia y que difícilmente se encuentran a mano en un taller ordinario. Constituyen una herramienta de trabajo práctica y útil.

La serie *Electrometría* aporta los datos indispensables para cálculos, medidas y referencias de utilidad durante la labor previa a realizar cuando se inicia el estudio de algún proyecto.

Finalmente, el apéndice correspondiente a la serie *Soluciones-tipo* aporta al técnico en Electricidad el fruto de la experiencia de auténticos expertos conocedores de los problemas prácticos de la profesión. La labor diaria demuestra que el profesional se enfrenta frecuentemente con problemas que se repiten una y otra vez... Disponer de antemano de la solución ahorra tiempo y esfuerzos, evita toda posibilidad de error e incrementa la productividad del operador. En definitiva, permite un mayor crédito y una sensación de seguridad en el profesional.

El Método, en su conjunto, es una garantía de eficacia. Pensado por expertos que han palpado las realidades de cada día en el taller, es fruto de la experiencia y el conocimiento de la técnica... y del hombre.

Con este Método aspiramos a proporcionar una verdadera carrera gracias a la cual sea posible situarse brillantemente en la vida como técnico en electricidad, capaz de ocupar un lugar destacado en cualquier nivel profesional que se elija. Este Método proporciona a la persona interesada una metodología que aporta conocimientos sólidos y *completos* sobre su profesión. El Plan de Estudios cubre una verdadera necesidad en el campo de la enseñanza de la Electricidad. Abarca una serie de disciplinas a cuál más importante dentro del campo profesional y técnico, permitiendo enfrentarse con éxito con todos los problemas profesionales: Electrotecnia, instalaciones, prácticas; oficina técnica, electrometría, taller mecánico; matemáticas, geometría; conocimiento de materiales...

A través de una metodología tan amplia y completa, es posible adquirir unos conocimientos suficientemente desarrollados sobre cada especialidad y de ese modo abordar todos los problemas que se presentan en la profesión.

Gracias a la orientación dada al método, éste facilita los medios para adquirir todos los conocimientos que necesita un técnico en electricidad *completo*: Instalaciones eléctricas; tracción; producción de energía eléctrica, transformación y transporte; líneas de alta y baja tensión; telecomunicación; refrigeración; luminotecnia; aparatos electrodomésticos; electricidad del automóvil...

En su conjunto, este Método responde a una orientación didáctica de última hora. Tanto su contenido como su exposición y desarrollo son lo último en materia de enseñanza. Todo lo que se puede explicar gráficamente halla su aclaración en dibujos, viñetas, esquemas, imágenes en negro y color. Los autores, asimismo, se han esmerado en proporcionar al alumno un texto ameno, claro, directo, que haga fácilmente comprensibles todas las teorías, todos los problemas. La profusión de ilustraciones sumamente explícitas, la clara exposición de las teorías en feliz conjunción con su demostración gráfica y la posibilidad de experimentar por sí mismo, convierten este Método en algo muy distinto a un libro de texto. Es una verdadera enciclopedia sobre electricidad que no tiene par en el mercado.

El método AFHA de

electricidad teórico-práctica

comprende los siguientes títulos:

Tomo I	**Fundamentos de electrotecnia**
Tomo II	**Electroquímica. Electromagnetismo. Instalaciones domésticas**
Tomo III	**Corriente alterna. Principios de máquinas de c.c. y de c. a. Instalaciones industriales**
Tomo IV	**Transformadores. Máquinas eléctricas de c.c. y c.a.**
Tomo V	**Canalizaciones eléctricas. Líneas y centrales Telecomunicaciones alámbricas**
Tomo VI	**Luminotecnia. Técnicas de la iluminación**
Tomo VII	**Electricidad del automóvil**
Tomo VIII	**Aparatos electrodomésticos**

---

ediciones


barcelona